

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月31日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-223092

[ ST.10/C ]:

[ JP2002-223092 ]

出 願 人

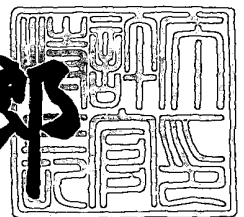
Applicant(s):

シャープ株式会社

2003年 6月17日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3047275

【書類名】 特許願

【整理番号】 02J02319

【提出日】 平成14年 7月31日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 H03M 13/41  
G11B 7/005  
G11B 20/10  
G11B 20/18

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

【氏名】 奥村 哲也

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

【氏名】 前田 茂己

【特許出願人】

【識別番号】 000005049

【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100080034

【弁理士】

【氏名又は名称】 原 謙三

【電話番号】 06-6351-4384

【選任した代理人】

【識別番号】 100113701

【弁理士】

【氏名又は名称】 木島 隆一

【選任した代理人】

【識別番号】 100115026

【弁理士】

【氏名又は名称】 圓谷 徹

【選任した代理人】

【識別番号】 100116241

【弁理士】

【氏名又は名称】 金子 一郎

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003229

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0208489

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 波形等化装置、情報再生装置、通信装置、波形等化方法、波形等化プログラム、及び波形等化プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ビタビ復号可能な入力信号列を波形等化しつつ、その等化特性を適応化する波形等化装置において、

前記入力信号列に基づいて前記波形等化を行うことで等化後信号列を生成する等化手段と、

前記等化後信号列に基づくビタビ復号過程における正解パスと誤りパスとのパスメトリック差を検出するパスメトリック差検出手段と、

前記パスメトリック差の目標値を設定する目標値設定手段と、

検出された前記パスメトリック差の前記目標値に対する誤差に基づいて、前記適応化を行う等化適応化手段と、

を備えることを特徴とする波形等化装置。

【請求項 2】

前記パスメトリック差検出手段が、前記等化後信号列に基づくビタビ復号過程の進展にともなって順次対決する前記正解パスと誤りパスとのパスメトリック差を順次検出した場合、前記各パスメトリック差にそれぞれ対応する前記誤差の平均二乗である平均二乗誤差が最小値に近づくように、前記等化適応化手段が前記適応化を行うことを特徴とする請求項 1 に記載の波形等化装置。

【請求項 3】

前記等化手段は、複数の等化係数に対して前記入力信号列の各入力信号を順次対応づけつつ、前記各等化係数と、当該各等化係数に対応づけられた各入力信号との畳み込み演算を行うことで等化後信号列を生成するものであり、

前記等化適応化手段は、前記各等化係数を変数として作成される前記誤差の二乗値を表す関数を最小値に近づけるように前記各等化係数を更新することにより、前記適応化を行うことを特徴とする請求項 1 に記載の波形等化装置。

## 【請求項 4】

前記等化適応化手段は、前記各等化係数から、当該等化係数による前記関数の偏微分結果である勾配の定数倍を減算することによって、前記各等化係数を更新することを特徴とする請求項 3 に記載の波形等化装置。

## 【請求項 5】

前記等化適応化手段には、前記勾配を算出する演算として、前記誤差と、当該誤差を生じたパスメトリック差に対応するパスを構成する前記入力信号列の各入力信号に予め定められた重み付けをして加算した値との積の演算が予め設定されていることを特徴とする請求項 4 に記載の波形等化装置。

## 【請求項 6】

前記入力信号列の復号結果である復号ビット列を生成する復号手段と、

ビタビ復号にとって理想的な波形を構成する理想波形信号列を想定した場合のパスメトリック差が予め定められた特定値となるようなビット列のパターンである特定パターンを、前記復号ビット列から検出するパターン検出手段とを備え、

前記等化適応化手段は、前記特定パターンが検出されたときに、前記等化後信号列における前記特定パターンに対応する信号列に基づいて検出されたパスメトリック差の前記誤差に基づいて、前記適応化を行うことを特徴とする請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の波形等化装置。

## 【請求項 7】

前記等化後信号列に基づくビタビ復号により、情報データとして利用される情報データビット列を生成する情報データ復号手段を備え、

前記復号手段は、前記情報データ復号手段の行うビタビ復号におけるパスメモリ長よりも短いパスメモリ長でビタビ復号を行って前記復号ビット列を生成することを特徴とする請求項 6 に記載の波形等化装置。

## 【請求項 8】

予め定められた参照ビット列を記憶し、かつ、前記参照ビット列に復号されるべき参照信号列が前記入力信号列として入力されたときに、前記入力される参照信号列と同期して前記参照ビット列を出力するメモリ手段と、

ビタビ復号にとって理想的な波形を構成する理想波形信号列を想定した場合の

パスメトリック差が予め定められた特定値となるようなビット列のパターンである特定パターンを、前記メモリ手段から出力された参照ビット列から検出するパターン検出手段とを備え、

前記等化適応化手段は、前記特定パターンが検出されたときに、前記参照信号列における前記特定パターンに対応する信号列に基づいて検出されたパスメトリック差の前記誤差に基づいて、前記適応化を行うことを特徴とする請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の波形等化装置。

【請求項 9】

前記目標値設定手段は、前記目標値として前記特定値を設定することを特徴とする請求項 6 から 8 の何れか 1 項に記載の波形等化装置。

【請求項 1 0】

前記特定値は、前記理想波形信号列に基づくパスメトリック差のとりうる値の最小値であることを特徴とする請求項 6 から 9 の何れか 1 項に記載の波形等化装置。

【請求項 1 1】

前記特定値は、前記理想波形信号列に基づくパスメトリック差のとりうる値のうち、最小値側から順に選択した複数の値であることを特徴とする請求項 6 から 9 の何れか 1 項に記載の波形等化装置。

【請求項 1 2】

前記入力信号列の復号結果である復号ビット列を生成する復号手段を備え、  
前記目標値設定手段は、ビタビ復号過程において生き残る正解パスに対応するビット列のパターンである復号パターンが前記復号手段にて生成されると、前記等化後信号列における前記復号パターンに対応する信号列に基づいて検出されたパスメトリック差に対して、前記復号パターンに対応し、かつ、ビタビ復号によって理想的な波形を構成する理想波形信号列を想定した場合の当該理想波形信号列に基づくパスメトリック差を、前記目標値として設定することを特徴とする請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の波形等化装置。

【請求項 1 3】

予め定められた参照ビット列を記憶し、かつ、前記参照ビット列に復号される

べき参照信号列が前記入力信号列として入力されたときに、前記入力された参照信号列と同期して前記参照ビット列を出力するメモリ手段を備え、

前記目標値設定手段は、前記参照ビット列が前記メモリ手段から出力されると、前記等化後信号列における前記参照ビット列に復号されるべき信号列に基づいて検出されたパスメトリック差に対して、前記参照ビット列に対応し、かつ、ビタビ復号にとって理想的な波形を構成する理想波形信号列を想定した場合の当該理想波形信号列に基づくパスメトリック差を、前記目標値として設定することを特徴とする請求項 1 から 5 の何れか 1 項に記載の波形等化装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 から 1 3 の何れか 1 項に記載の波形等化装置と、

情報記録媒体から前記入力信号列を再生する再生手段と、を備えることを特徴とする情報再生装置。

【請求項 1 5】

請求項 1 から 1 3 の何れか 1 項に記載の波形等化装置と、

通信経路を介して伝送されてくる前記入力信号列を受信する受信手段と、を備えることを特徴とする通信装置。

【請求項 1 6】

ビタビ復号可能な入力信号列を波形等化しつつ、その等化特性を適応化する波形等化方法において、

前記入力信号列に基づいて前記波形等化を行うことで等化後信号列を生成する等化ステップと、

前記等化後信号列に基づくビタビ復号過程における正解パスと誤りパスとのパスメトリック差を検出するパスメトリック差検出ステップと、

前記パスメトリック差の目標となる値として設定された目標値に対する、検出された前記パスメトリック差の誤差に基づいて、前記適応化を行う等化適応化ステップと、

を含むことを特徴とする波形等化方法。

【請求項 1 7】

前記パスメトリック差検出ステップを繰り返し行うことにより、前記等化後信

号列に基づくビタビ復号過程の進展にともなう順次対決する前記正解パスと誤りパスとのパスメトリック差が順次検出された場合、前記各パスメトリック差にそれぞれ対応する前記誤差の平均二乗である平均二乗誤差が最小値に近づくように、前記等化適応化ステップによる適応化が行われることを特徴とする請求項 1 6 に記載の波形等化方法。

【請求項 1 8】

前記等化ステップは、複数の等化係数に対して前記入力信号列の各入力信号を順次対応付けつつ、前記各等化係数と、当該各等化係数に対応づけられた各入力信号との畳み込み演算を行うことで等化後信号列を生成し、

前記等化適応化ステップは、前記各等化係数を変数として作成される前記誤差の二乗値を表す関数を最小値に近づけるように前記各等化係数を更新することにより、前記適応化を行うことを特徴とする請求項 1 6 に記載の波形等化方法。

【請求項 1 9】

請求項 1 から 1 3 の何れか 1 項に記載の波形等化装置を動作させる波形等化プログラムであって、コンピュータを前記各手段として機能させるための波形等化プログラム。

【請求項 2 0】

請求項 1 9 に記載の波形等化プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、信号再生系において、再生信号を適応的に波形等化する波形等化装置、波形等化方法、波形等化プログラム、及び波形等化プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体、並びに、上記波形等化装置を備えた情報再生装置及び通信装置に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

近年、情報記録媒体（以下、単に「記録媒体」という。）のより高い記録密度



を実現するために、データ検出方式としてPRML (Partial Response Maximum Likelihood) 方式が採用されている。PRMLにおいては、記録媒体から再生された再生波形を、PRクラスで想定する理想的な周波数特性に近づけるために波形等化を行う必要がある。また、記録媒体を再生する際には、記録媒体ごとの特性のばらつきや、ディスクチルト、サーボオフセット等、再生系の特性変動に起因する再生特性変動が存在するため、この再生特性変動に対して適応的に波形等化の等化特性を更新する適応等化技術が用いられる。

## 【0003】

従来の適応等化技術の例としては、LMS (Least Mean Square : 最小二乗平均) 法と呼ばれる手法が代表的である。

## 【0004】

図13及び図14を用いて、この従来技術について説明する。ここでは、PR (1, 2, 1) 特性に基づいてPRML方式によりデータ検出する場合を例に説明する。

## 【0005】

図13は、再生波形と、PR (1, 2, 1) 特性で想定する理想波形との関係を示すグラフである。図13において、 $u(i-2)$ 、 $u(i-1)$ 、 $u(i)$ 、 $\dots$  は再生波形をチャンネルクロックでA/D変換した再生信号列を表し、 $d(i-2)$ 、 $d(i-1)$ 、 $d(i)$ 、 $\dots$  は $u(i-2)$ 、 $u(i-1)$ 、 $u(i)$ 、 $\dots$  に対応する時刻の理想波形信号列を表している。

## 【0006】

図14は、従来の波形等化装置50の構成を示すブロック図である。この波形等化装置は、等化係数(タップ係数) $c(k, i)$  ( $k=0, 1, 2$ ) なる3タップのFIR (Finite Impulse Response) フィルタ52 (有限インパルス応答フィルタ) と、LMS演算回路53と、理想波形発生回路54とを備えて構成されている。波形等化装置50では、LMS法に基づき、再生波形と、PRクラスで想定する理想的な信号波形とから等化誤差を求め、等化誤差が小さくなるように等化特性を適応的に変化させていくことにより理想特性に近づけていく。

## 【0007】

波形等化装置 5 0 においては、入力された時刻  $i$  での再生信号  $u(i)$  は、チャネル時間  $T$  の遅延素子によって遅延され、FIR フィルタ 5 2 におけるタップ係数  $c(k, i)$  との畳み込み演算が行われて、等化後信号  $y(i-1) = c(0, i)u(i) + c(1, i)u(i-1) + c(2, i)u(i-2)$  として出力される。理想波形発生回路 5 4 は、再生信号  $u(i-1)$  に対応する PR(1, 2, 1) 特性の理想波形信号  $d(i-1)$  を出力している。LMS 演算回路 5 3 には、理想波形信号  $d(i-1)$ 、時刻  $i$  におけるタップ係数  $c(k, i)$ 、等化後信号  $y(i-1)$ 、及び再生信号列  $u(i-2)$ 、 $u(i-1)$ 、 $u(i)$  が入力される。LMS 演算回路 5 3 では、時刻  $i$  に再生信号  $u(i)$  が入力される毎に、 $c(k, i+1) = c(k, i) - \mu \{y(i-1) - d(i-1)\} u(i-k)$  なる式の演算が行われ、新しく求められたタップ係数  $c(k, i+1)$  によって時刻  $(i+1)$  での FIR フィルタ 5 2 のタップ係数が更新される。

## 【0008】

LMS 演算回路 5 3 における上記演算式において、 $\mu$  はステップゲインと呼ばれる定数であり、この演算式は、一般に LMS アルゴリズムとして知られている。ステップゲイン  $\mu$  が適当な値に設定されていれば、上記更新動作を繰り返すうちにタップ係数  $c(k, i)$  は所定値に収束していく。そして、最終的に収束したタップ係数で等化した再生波形の理想波形に対する平均二乗誤差  $E[\{y(i) - d(i)\}^2]$  ( $E$  は期待値演算子) は、最小となることがフィルタ理論により明らかにされている。

## 【0009】

なお、LMS 法を用いる他の技術としては、特開 2 0 0 0 - 1 5 6 0 4 1 号公報（公開日：2 0 0 0 年 6 月 6 日）に開示された技術がある。この技術では、サーボ誤差調整後の再生インパルスレスポンスを目標再生特性として、適応等化を行うものである。

## 【0010】

また、波形等化を行うのではなく、再生時のサンプリング位相のずれやトラックオフセット等を調整するために、再生波形を評価する評価関数を用いる技術が

、特開平 1 0 - 2 1 6 5 1 号公報（公開日：1 9 9 8 年 1 月 2 3 日）に開示されている。この技術では、最尤復号器から出力され、選別された差メトリックの標準偏差を求め、この標準偏差を上記評価関数としている。そして、この標準偏差が最小となるように、上記の調整を行うようになっている。

## 【 0 0 1 1 】

## 【発明が解決しようとする課題】

ところが、一般に波形等化処理はノイズの高域成分の強調を同時に引き起こす。そのため、高密度記録のために分解能が低い（すなわち高域成分の減衰が著しい）再生信号に対して、波形等化装置 5 0 のように、P R クラスで想定される理想波形を目標として L M S アルゴリズムによる適応等化を行った場合、高域成分をかなり大きく強調することになり、その結果、S / N (Signal to Noise) 比が悪化して、必ずしもエラーレートが最良となる等化特性にはならないという問題があった。言い換えると、エラーレートが最良となるように等化を行った信号波形の周波数特性は、P R クラスで想定される周波数特性よりも高域成分が少し減衰した特性となる。また、このような減衰の度合いは再生系によって様々である。

## 【 0 0 1 2 】

従って、エラーレートを最良とするためには、等化特性とエラーレートの相関性を考慮に入れた上で最適な等化特性に適応等化することが必要であった。

## 【 0 0 1 3 】

また、上記特開 2 0 0 0 - 1 5 6 0 4 1 号公報に開示の技術では、最初にサーボ最適化を行って理想波形を作成する処理が必要となるため、起動時間が長くなるとともに、起動処理が複雑になってしまう。また、この技術では、サーボ最適状態での再生波形そのもの、つまり等化を行っていない波形を理想波形としているため、この理想波形は真にエラーレートが低くなるような波形とは限らない。そのため、この技術により適応等化を行った場合も、必ずしもエラーレートが最良となる等化特性にはならない。

## 【 0 0 1 4 】

また、上記特開平 1 0 - 2 1 6 5 1 号公報に開示の技術では、再生時のサンプ

リング位相のずれやトラックオフセット等を調整できるにとどまり、波形等化を行うことができない。上記のような調整では、適切な波形等化を行う場合と比較して、エラーレートを低減できる効果が低い。そのため、エラーレートを良好に低減することが困難である。

#### 【 0 0 1 5 】

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、復号によるエラーレートをより良好に低減することができる波形等化装置や波形等化方法などを実現することにある。

#### 【 0 0 1 6 】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明の波形等化装置は、ビタビ復号可能な入力信号列を波形等化しつつ、その等化特性を適応化する波形等化装置において、前記入力信号列に基づいて前記波形等化を行うことで等化後信号列を生成する等化手段と、前記等化後信号列に基づくビタビ復号過程における正解パスと誤りパスとのパスメトリック差を検出するパスメトリック差検出手段と、前記パスメトリック差の目標値を設定する目標値設定手段と、検出された前記パスメトリック差の前記目標値に対する誤差に基づいて、前記適応化を行う等化適応化手段と、を備えることを特徴としている。

#### 【 0 0 1 7 】

また、本発明の波形等化方法は、ビタビ復号可能な入力信号列を波形等化しつつ、その等化特性を適応化する波形等化方法において、前記入力信号列に基づいて前記波形等化を行うことで等化後信号列を生成する等化ステップと、前記等化後信号列に基づくビタビ復号過程における正解パスと誤りパスとのパスメトリック差を検出するパスメトリック差検出ステップと、前記パスメトリック差の目標となる値として設定された目標値に対する、検出された前記パスメトリック差の誤差に基づいて、前記適応化を行う等化適応化ステップと、を含むことを特徴としている。

#### 【 0 0 1 8 】

上記の構成及び方法では、等化後信号列に基づくパスメトリック差を検出し、

このパスメトリック差を用いて等化特性の適応化を行う。

【0019】

上述したように、従来のLMS法による適応等化では、復号された信号のエラーレートを考慮せず、入力信号と理想波形信号とに基づいて信号単位で等化特性の適応化を図っているため、必ずしもエラーレートが最良となる等化特性にはならない。

【0020】

これに対して、パスメトリック差を用いて等化特性の適応化を行うことにより、適応化に対してエラーレートを考慮に入れることができる。その理由は次の通りである。パスメトリック差は、ビタビ復号過程において生き残りを賭けて対決する2本のパスから正解パスを決定するための指標である。そのため、パスメトリック差は、そのパスメトリック差の検出の元となった等化後信号列が、復号過程において誤ったパスを生き残りパスとして決定してしまう危険性をどの程度はらんでいるものであるか、つまり復号におけるエラーの発生する度合いを示していることになる。このため、パスメトリック差を用いて等化特性の適応化を行うことにより、適応化に対してエラーレートを考慮に入れることができ、復号によるエラーレートをより良好に低減することができるようになる。

【0021】

ここで、エラーレートを小さくするためには、所定のパスに対応して検出されるパスメトリック差のばらつきを小さくすればよい。しかし、パスメトリック差のばらつきを小さくするために、パスメトリック差の標準偏差等を算出し、これを最小化するように等化特性を適応化しようとする、そのための演算が複雑になる。したがって、このような方法は極めて困難であり、実現されていない。

【0022】

そこで、本発明では、所定のパスに対しては理想的なパスメトリック差が定まること、及び実際に検出されるパスメトリック差はこの理想的なパスメトリック差に対してばらつきを有していることに着目し、上記の構成及び方法のように、まずパスメトリック差の目標値を設定しておき、実際に検出されたパスメトリック差と設定した目標値との誤差に基づいて等化特性を適応化するようにしている

。これにより、上記のようにパスメトリック差の標準偏差等を算出してこれを最小化するように等化特性を適応化する場合と比較して、必要な演算を格段に簡素化することができる。

## 【 0 0 2 3 】

その結果、上記の構成及び方法により、復号によるエラーレートをより良好に低減することができる波形等化装置及び方法を実現することができる。

## 【 0 0 2 4 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、前記パスメトリック差検出手段が、前記等化後信号列に基づくビタビ復号過程の進展にともなって順次対決する前記正解パスと誤りパスとのパスメトリック差を順次検出した場合、前記各パスメトリック差にそれぞれ対応する前記誤差の平均二乗である平均二乗誤差が最小値に近づくように、前記等化適応化手段が前記適応化を行うことが望ましい。

## 【 0 0 2 5 】

また、本発明の波形等化方法は、上記の波形等化方法において、前記パスメトリック差検出ステップを繰り返し行うことにより、前記等化後信号列に基づくビタビ復号過程の進展にともなって順次対決する前記正解パスと誤りパスとのパスメトリック差が順次検出された場合、前記各パスメトリック差にそれぞれ対応する前記誤差の平均二乗である平均二乗誤差が最小値に近づくように、前記等化適応化ステップによる適応化が行われることが望ましい。

## 【 0 0 2 6 】

上記の構成及び方法のように、エラーレートを低減するためには、上記誤差の平均二乗である平均二乗誤差を最小値に近づけるように適応化を行えばよい。なお、この適応化を行うためには、必ずしも実際に平均二乗誤差を算出する必要はなく、適応化を繰り返すことによって、結果として平均二乗誤差が最小値に近づくようにすればよい。

## 【 0 0 2 7 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、前記等化手段は、複数の等化係数に対して前記入力信号列の各入力信号を順次対応づけつつ、前記各

等化係数と、当該各等化係数に対応づけられた各入力信号との畳み込み演算を行うことで等化後信号列を生成するものであり、前記等化適応化手段は、前記各等化係数を変数として作成される前記誤差の二乗値を表す関数を最小値に近づけるように前記各等化係数を更新することにより、前記適応化を行うことが望ましい。

## 【 0 0 2 8 】

また、本発明の波形等化方法は、上記の波形等化方法において、前記等化ステップは、複数の等化係数に対して前記入力信号列の各入力信号を順次対応付けつつ、前記各等化係数と、当該各等化係数に対応づけられた各入力信号との畳み込み演算を行うことで等化後信号列を生成し、前記等化適応化ステップは、前記各等化係数を変数として作成される前記誤差の二乗値を表す関数を最小値に近づけるように前記各等化係数を更新することにより、前記適応化を行うことが望ましい。

## 【 0 0 2 9 】

上記の構成及び方法では、等化手段の等化係数を更新することにより適応化を行う。この等化係数の更新のために、各等化係数を変数として作成される上記誤差の二乗値を表す関数を想定する。上記誤差は、等化後信号列に基づいて検出されたパスマトリック差の誤差であり、等化後信号列は各入力信号に各等化係数を畳み込んだものであるため、各等化係数を変数として上記誤差の二乗値を表すことができる。

## 【 0 0 3 0 】

そして、上記関数を最小値に近づける方向に各等化係数を更新することによる適応化を繰り返すことで、ビタビ復号過程の進展にともなって順次検出されるパスマトリック差に対応する上記誤差の平均二乗である平均二乗誤差を最小値に近づけることができる。その結果、復号によるエラーレートをより良好に低減することが可能になる。

## 【 0 0 3 1 】

なお、上記関数を最小値に近づける方向に各等化係数を更新するには、前記等化適応化手段は、前記各等化係数から、当該等化係数による前記関数の偏微分結

果である勾配の定数倍を減算することによって、前記各等化係数を更新すればよい。

### 【 0 0 3 2 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、前記等化適応化手段には、前記勾配を算出する演算として、前記誤差と、当該誤差を生じたパスメトリック差に対応するパスを構成する前記入力信号列の各入力信号に予め定められた重み付けをして加算した値との積の演算が予め設定されていることが望ましい。

### 【 0 0 3 3 】

上記の構成では、上記勾配を、上記誤差と、予め定められた重み付けがなされた入力信号の和との積として算出することができる。なお、重み付けは、更新しようとしている等化係数が上記複数の等化係数のうちの何れであるか、及びパスメトリック差検出手段がどのようなパーシャルレスポンス特性を想定しているかによって定めることができる。そして、等化適応化手段には上記の演算が予め設定されているため、加算や乗算などの簡単な演算の組合せで上記勾配を算出し、等化係数を更新することができる。

### 【 0 0 3 4 】

その結果、上記の構成では、等化適応化手段をより簡単な回路構成で実現することができるようになる。

### 【 0 0 3 5 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、前記入力信号列の復号結果である復号ビット列を生成する復号手段と、ビタビ復号にとって理想的な波形を構成する理想波形信号列を想定した場合のパスメトリック差が予め定められた特定値となるようなビット列のパターンである特定パターンを、前記復号ビット列から検出するパターン検出手段とを備え、前記等化適応化手段は、前記特定パターンが検出されたときに、前記等化後信号列における前記特定パターンに対応する信号列に基づいて検出されたパスメトリック差の前記誤差に基づいて、前記適応化を行うことが望ましい。

### 【 0 0 3 6 】



上記の構成では、理想波形信号列に基づくパスメトリック差が特定値となるような特定パターンに基づいて適応化を行うことにより、ビタビ復号過程においてエラーを起こしやすいパターンに特化して等化特性を最適化することができる。

## 【 0 0 3 7 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、前記等化後信号列に基づくビタビ復号により、情報データとして利用される情報データビット列を生成する情報データ復号手段を備え、前記復号手段は、前記情報データ復号手段の行うビタビ復号におけるパスメモリ長よりも短いパスメモリ長でビタビ復号を行って前記復号ビット列を生成することが望ましい。

## 【 0 0 3 8 】

情報データとして利用される情報データビット列は、エラーレートが十分小さくなるように復号する必要がある、ビタビ復号におけるパスメモリ長を十分長くとる必要がある。この情報データビット列は、パスメモリ長に相当する時間遅延して出力されるため、この情報データビット列に基づいて特定パターンを検出しようとすると、検出の遅延が生じ、結果として適応化が遅れることになる。

## 【 0 0 3 9 】

一方、パターン検出のための復号ビット列としては、情報データビット列で要求されるほどエラーレートを小さくしなくても、適応化には十分である。

## 【 0 0 4 0 】

そこで、上記の構成では、パターン検出のための復号ビット列を生成する復号手段のパスメモリ長を、情報データビット列を生成する情報データ復号手段のパスメモリ長よりも短くしている。これにより、パターン検出の遅延を小さくすることができる。その結果、適応化の遅れを短くして応答性の優れた適応化を実現することが可能になる。

## 【 0 0 4 1 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、予め定められた参照ビット列を記憶し、かつ、前記参照ビット列に復号されるべき参照信号列が前記入力信号列として入力されたときに、前記入力される参照信号列と同期して前記参照ビット列を出力するメモリ手段と、ビタビ復号にとって理想的な波形を構成

する理想波形信号列を想定した場合のパスメトリック差が予め定められた特定値となるようなビット列のパターンである特定パターンを、前記メモリ手段から出力された参照ビット列から検出するパターン検出手段とを備え、前記等化適応化手段は、前記特定パターンが検出されたときに、前記参照信号列における前記特定パターンに対応する信号列に基づいて検出されたパスメトリック差の前記誤差に基づいて、前記適応化を行うことが望ましい。

## 【 0 0 4 2 】

上記の構成では、予め定められた参照ビット列を記憶しておき、入力信号列として参照ビット列に復号されるべき参照信号列が入力されたときに、メモリ手段から出力された参照ビット列に基づいてパターン検出を行うことができる。したがって、復号手段により復号された復号ビット列に基づいてパターン検出を行う場合とは異なり、パターン検出の遅延をなくすことができ、さらに応答性の優れた適応化を実現することが可能になる。

## 【 0 0 4 3 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、前記目標値設定手段は、前記目標値として前記特定値を設定することが望ましい。

## 【 0 0 4 4 】

上記の構成では、検出されるパスメトリック差に対して、そのパスメトリック差が理想波形信号列に基づいて検出されたと想定したときの値を目標値として設定することになる。これにより、等化特性を最適化することができる。

## 【 0 0 4 5 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、前記特定値は、前記理想波形信号列に基づくパスメトリック差のとりうる値の最小値であることが望ましい。

## 【 0 0 4 6 】

ビタビ復号過程では、理想波形信号列に基づくパスメトリック差のとりうる値の最小値に対応するパターンにおいてエラーが最も発生しやすい。上記の構成では、このパターンを特定パターンとすることで、等化特性を最適化することができる。

## 【 0 0 4 7 】

なお、前記特定値は、前記理想波形信号列に基づくパスメトリック差のとりうる値のうち、最小値側から順に選択した複数の値であってもよい。

## 【 0 0 4 8 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、前記入力信号列の復号結果である復号ビット列を生成する復号手段を備え、前記目標値設定手段は、ビタビ復号過程において生き残る正解パスに対応するビット列のパターンである復号パターンが前記復号手段にて生成されると、前記等化後信号列における前記復号パターンに対応する信号列に基づいて検出されたパスメトリック差に対して、前記復号パターンに対応し、かつ、ビタビ復号にとって理想的な波形を構成する理想波形信号列を想定した場合の当該理想波形信号列に基づくパスメトリック差を、前記目標値として設定することが望ましい。

## 【 0 0 4 9 】

あるいは、本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、予め定められた参照ビット列を記憶し、かつ、前記参照ビット列に復号されるべき参照信号列が前記入力信号列として入力されたときに、前記入力された参照信号列と同期して前記参照ビット列を出力するメモリ手段を備え、前記目標値設定手段は、前記参照ビット列が前記メモリ手段から出力されると、前記等化後信号列における前記参照ビット列に復号されるべき信号列に基づいて検出されたパスメトリック差に対して、前記参照ビット列に対応し、かつ、ビタビ復号にとって理想的な波形を構成する理想波形信号列を想定した場合の当該理想波形信号列に基づくパスメトリック差を、前記目標値として設定することが望ましい。

## 【 0 0 5 0 】

上記の構成のように、生成される復号パターン毎に目標値を設定して様々な復号パターンに基づいて適応化を行ってもよい。

## 【 0 0 5 1 】

本発明の情報再生装置は、上記何れかの波形等化装置と、情報記録媒体から前記入力信号列を再生する再生手段と、を備えることを特徴としている。

## 【 0 0 5 2 】

また、本発明の通信装置は、上記何れかの波形等化装置と、通信経路を介して伝送されてくる前記入力信号列を受信する受信手段と、を備えることを特徴としている。

【 0 0 5 3 】

このように、本発明の波形等化装置を備える情報再生装置及び通信装置では、上記本発明の波形等化装置の有する効果により、復号によるエラーレートをより良好に低減することができる。

【 0 0 5 4 】

本発明の波形等化プログラムは、上記何れかの波形等化装置を動作させる波形等化プログラムであって、コンピュータを前記各手段として機能させるためのプログラムである。

【 0 0 5 5 】

上記の構成により、コンピュータで上記波形等化装置の各手段を実現することによって、上記波形等化装置を実現することができる。したがって、上記した波形等化装置として、復号によるエラーレートをより良好に低減することができる。

【 0 0 5 6 】

また、本発明の波形等化プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体は、コンピュータを前記各手段として機能させるためのプログラムを記録している。

【 0 0 5 7 】

上記の構成により、上記記録媒体から読み出された波形等化プログラムによって、上記波形等化装置をコンピュータ上に実現することができる。

【 0 0 5 8 】

【発明の実施の形態】

〔実施形態 1〕

本発明の第 1 の実施形態について、図 1 から図 1 0 に基づいて説明すれば、以下の通りである。

【 0 0 5 9 】

図 1 は、本発明の波形等化装置を適用した光ディスク再生装置 2 0（情報再生装置）の構成を示すブロック図である。光ディスク再生装置 2 0 は、光ディスク 1 を再生する装置であり、光学ピックアップ 2、A/D 変換器 3、FIR フィルタ 4、ピタビ復号回路 5、パスメモリ長遅延素子 6、特定パターン検出回路 7、目標値レジスタ 8、時間 T（T は再生信号の 1 チャネルビット時間を表す。以下において同じ。）の遅延素子 9、タップ係数更新回路 1 0 を備えている。

## 【 0 0 6 0 】

光ディスク 1 には（1，7）RLL（Run Length Limited）符号のような  $d = 1$  なるランレンクス制限符号、すなわち最短マーク長が  $2T$  であるような変調方式の記録マーク列が記録されている。

## 【 0 0 6 1 】

光学ピックアップ 2（再生手段）は、再生信号列（入力信号列）を有するアナログ再生波形（信号波形）を、光ディスク 1（情報記録媒体）から再生する。光学ピックアップ 2 は、図示しない半導体レーザや各種光学部品、フォトダイオード等からなっている。光学ピックアップ 2 は、半導体レーザから出射したレーザビームを光ディスク 1 上に集光させて、光ディスク 1 上に記録された記録マークで反射させ、反射光をフォトダイオードで電気信号に変換することによってアナログ再生波形（以下、単に「再生波形」という。）を出力するものである。

## 【 0 0 6 2 】

A/D 変換器 3 は、チャンネル周波数クロックのタイミングで、光学ピックアップ 2 の出力した再生波形の A/D 変換を行う。そして、A/D 変換器 3 は、A/D 変換後のデジタル再生信号（以下、単に「再生信号」という。）を出力する。

## 【 0 0 6 3 】

FIR フィルタ 4（等化手段）は、再生信号列に基づいて波形等化を行うことで等化後信号列を生成する。FIR フィルタ 4 は、時間 T の遅延素子を 2 個、ゲイン可変の増幅器を 3 個（ゲインはそれぞれ  $c(0,n)$ 、 $c(1,n)$ 、 $c(2,n)$ ）、加算器を 1 個備えたデジタルフィルタである。ここで、ゲイン  $c(0,n)$ 、 $c(1,n)$ 、 $c(2,n)$  はタップ係数（等化係数）であり、この値を変化させることによって

F I R フィルタ 4 の等化特性を変化させることができる。F I R フィルタ 4 は、タップ係数を用いて再生波形に対する波形等化を行い、等化後信号  $y(i-1,n)$  を出力する。なお、「 $n$ 」の意味については後述する。

## 【 0 0 6 4 】

ビタビ復号回路 5（復号手段、パスメトリック差検出手段）は、波形干渉幅が 3 T である P R（1, 2, 1）特性に基づいて、F I R フィルタ 4 の出力した等化後信号  $y(i-1,n)$  のビタビ復号を行い、光ディスク 1 に記録された記録マークの復号ビット列  $b(i)$  を出力すると同時に、ビタビ復号過程において合流する 2 本のパスのパスメトリック差  $s(n)$  を計算し、出力するものである。

## 【 0 0 6 5 】

このパスメトリック差  $s(n)$  は S A M（Sequenced Amplitude Margin）と呼ばれるものであり、例えば「T.Perkins, "A Window Margin Like Procedure for Evaluating PRML Channel Performance"; IEEE Transactions on Magnetics, Vol .31, No2, 1995, p1109-1114」等の文献によって周知である。

## 【 0 0 6 6 】

なお、ビタビ復号回路 5（情報データ復号手段）は、情報データとして利用される情報データビット列をも生成する。情報データビット列は、上記復号ビット列  $b(i)$  を用いてもよく、別途生成してもよい。情報データとは、光ディスク再生装置 2 0 が本来再生すべきデータであり、光ディスク 1 に記録されたデータに忠実なデータであることが求められる。

## 【 0 0 6 7 】

パスメモリ長遅延素子 6 は、ビタビ復号回路 5 におけるパスメモリ長の時間  $L$  に対応する遅延素子である。

## 【 0 0 6 8 】

特定パターン検出回路 7（パターン検出手段）は、ビタビ復号回路 5 により復号された復号ビット列  $b(i-4)$ 、 $b(i-3)$ 、…、 $b(i)$  が、特定パターンとしての「0 0 1 1 1」、「0 0 0 1 1」、「1 1 0 0 0」、「1 1 1 0 0」のいずれかと一致するか否かを判定する。

## 【 0 0 6 9 】

目標値レジスタ 8（目標値設定手段）は、パスメトリック差  $s(n)$  の目標値  $d_s$  の値を設定するものであり、この目標値  $d_s$  を記憶している。

## 【 0 0 7 0 】

タップ係数更新回路 1 0（等化適応化手段）は、特定パターン検出回路 7 が上記特定パターンを検出する毎に、

$$c(k, n+1) = c(k, n) \pm \mu \{ s(n) - d_s \} \{ u(-2-k, n) + 2u(-1-k, n) + u(-k, n) \} \quad \dots \quad (1)$$

により新しいタップ係数  $c(k, n+1)$  を求め、FIR フィルタ 4 のタップ係数を更新する。なお、「 $n$ 」は、特定パターンの検出回数に相当する値であり、検出された  $n$  番目の特定パターン毎にタップ係数が更新されることを意味している。

## 【 0 0 7 1 】

ここで、図 2 及び図 3 を用いて、ビタビ復号回路 5 による復号方法についてもう少し詳細に説明しておく。

## 【 0 0 7 2 】

PR(1, 2, 1) 特性に従う再生波形であって、歪み及びノイズのない理想的な 1 T マークの再生波形は、図 2 に示すようにチャネルクロック毎のサンプルレベル比が 1 : 2 : 1 になる。2 T 以上のマークの再生波形については、この 1 T マークの再生波形の重ね合わせによって求められる。例えば、2 T マークのサンプルレベル比は 1 : 3 : 3 : 1 に、3 T マークのサンプルレベル比は 1 : 3 : 4 : 3 : 1 に、4 T マークのサンプルレベル比は 1 : 3 : 4 : 4 : 3 : 1 になる。このように、任意のビット列について理想的な再生波形を想定することができ、理想的なサンプルレベル（理想サンプルレベル）としては、0、1、2、3、4 の 5 レベルをとることになる。ここで、便宜上、サンプルレベルの最大振幅が  $\pm 1$  になるようにサンプルレベルを正規化すれば、理想サンプルレベルは、-1、-0.5、0、+0.5、+1 の 5 レベルとなる。

## 【 0 0 7 3 】

図 3 は、PRML 方式によるデータ検出を実現するためのビタビ復号を表すトレリス線図である。図 3 において、 $S(00)$ 、 $S(01)$ 、 $S(10)$ 、 $S(11)$  はそれぞれ状態を表し、例えば状態  $S(00)$  は前ビットが 0 で現在ビッ

トが0であることを示す。状態と状態とを結ぶ線は「ブランチ」と呼ばれ、このブランチは状態遷移を表している。例えば、 $S(00) \rightarrow S(01)$  のブランチによって「001」なるビット列を表すことができる。各ブランチの横に附した数値は、各状態遷移において期待される理想サンプルレベルを表す。例えば、 $S(00) \rightarrow S(00)$  のブランチは「000」なるビット列を表すので、 $-1$ （正規化前のサンプルレベルは0）が理想サンプルレベルである。なお、 $S(01) \rightarrow S(10)$  及び  $S(10) \rightarrow S(01)$  なるブランチが存在しないのは、 $d=1$  のランレングス制限により「010」及び「101」なるビット列があり得ないことを反映している。

## 【0074】

トレリス線図において、ブランチが連続するように各時刻の状態を1つずつ通っていく経路は「パス」と呼ばれる。任意の状態から任意の状態を経て生成される全てのパスを考えることは、全てのあり得るビット列を考えることに相当する。よって、全てのパスについて期待される理想波形と、実際に光ディスク1から再生した再生波形とを比べて、再生波形に最も近い、すなわち再生波形とのユークリッド距離が最も小さい理想波形を有するパスを探索すれば、最も確からしい最尤パスを正解パスとして決定することができる。

## 【0075】

具体的にトレリス線図を用いたビタビ復号の手順を説明する。任意の時刻において、状態  $S(00)$  及び  $S(11)$  には2本のパスが合流しており、 $S(01)$  及び  $S(10)$  には1本のパスが接続されている。2本のパスが合流する状態  $S(00)$  及び  $S(11)$  について、合流する各パスの理想波形と再生波形とのユークリッド距離が小さい方を生き残りパスとして残すことにすれば、任意の時刻において、4つの各状態に至るパスがそれぞれ1本ずつ、合計4本のパスが残っていることになる。

## 【0076】

パスの理想波形と再生波形とのユークリッド距離の二乗は「パスメトリック」と呼ばれ、ブランチの理想サンプルレベルと再生波形のサンプルレベルとの差の二乗として求められるブランチメトリックを、パスを構成する全ブランチについ



て累積することによって計算される。

【0077】

こうして再生波形のサンプル値、つまり再生信号が入力される毎に、同じ状態に合流する2本のパスのパスメトリックの大きさを比較して生き残りパスを決定する手順を繰り返していくと、パスメトリックの大きなパスが淘汰されていくため、生き残りパスはパスメトリックが最小なる1本のパスに収束していく。これを正解パスとすることにより、光ディスク1に記録されたデータビット列が正しく再生されることになる。

【0078】

なお、再生信号の入力時刻に対して、正解パスを決定して復号ビット列を出力する時刻までの状態遷移数を「パスメモリ長」と呼ぶ。一般にパスメモリ長は、生き残りパスが一本に収束するのに十分な長さを持たせている。

【0079】

ここで、ビタビ復号が正しく行われる条件を考えると、最終的に1本に収束していくパスが正解パスとなるためには、各時刻において生き残りパスを決定する過程で、正解パスのパスメトリックが、誤りパスであるもう一方のパスのパスメトリックよりも小さくなければならない。そこで、生き残りを賭けて対決する2本のパスにおけるパスメトリックの差であるパスメトリック差をみれば、そのパスがどの程度エラーを起こし易そうであるかを判定することができる。このパスメトリック差がSAMの定義である。

【0080】

ビタビ復号においてエラーが発生しないためには、誤りパスのパスメトリックから正解パスのパスメトリックを引いたパスメトリック差が0より大きくなる必要があり、また上記パスメトリック差が大きい程エラーを起こしにくいことになる。ビタビ復号回路5は、このパスメトリック差を計算して $s(n)$ として出力するものである。

【0081】

さて、図1に示した上記構成の光ディスク再生装置20による再生動作を説明すると以下の通りである。

## 【 0 0 8 2 】

まず、光学ピックアップ2から光ディスク1上に光ビームが照射されることで、光ディスク1上に記録された記録マークの再生波形が光学ピックアップ2から出力される。この再生波形はA/D変換器3にて再生信号列 $u(i,n)$ に変換される。FIRフィルタ4に再生信号列 $u(i,n)$ が入力されると、FIRフィルタ4により波形等化处理が施されて等化後信号 $y(i-1,n)$ が出力される。等化後信号 $y(i-1,n)$ は、再生信号 $u(i-1,n)$ に対応する等化後信号である（添字「 $i-1$ 」を一致させることによって等化前後の信号の対応関係を表している）。等化後信号 $y(i-1,n)$ は、次式で表されるように、タップ係数 $c(k,n)$ と再生信号列 $u(i-k,n)$ との畳み込み演算により求められる。

## 【 0 0 8 3 】

【数1】

$$y(i-1,n) = \sum_{k=0}^2 c(k,n)u(i-k,n) \quad \cdots (2)$$

## 【 0 0 8 4 】

つまり、FIRフィルタ4は、複数のタップ係数 $c(k,n)$  ( $k=0,1,2$ )に対して、再生信号列 $u(i-k,n)$ の各再生信号を各タップ係数に順次対応づけつつ、各タップ係数と、各タップ係数に対応づけられた各入力信号との畳み込み演算を行うことで等化後信号列 $y(i-1,n)$ を生成する。

## 【 0 0 8 5 】

ビタビ復号回路5は、等化後信号列 $y(i-1,n)$ が入力されると、上記で説明したようにパスメトリック差 $s(n)$ を求めて出力するとともに、ビタビ復号を行った結果得られた復号ビット列 $b(i)$ を出力する。つまり、ビタビ復号回路5は、再生信号列 $u(i,n)$ の復号結果である復号ビット列 $b(i)$ を生成する。また、ビタビ復号回路5は、等化後信号列 $y(i-1,n)$ に基づくビタビ復号過程において、生き残りパスとして決定される正解パスと、この正解パスと対決する誤りパスとのパスメトリック差 $s(n)$ を検出する。

## 【 0 0 8 6 】

ここで、パスメモリ長遅延素子6は、ビタビ復号におけるパスメモリ長の時間

分の遅延による再生信号列  $u(i, n)$  及びパスメトリック差  $s(n)$  と、復号ビット列  $b(i)$  との時間差  $L$  を補正して同期を取るためのものである。

#### 【0087】

特定パターン検出回路 7 は、復号ビット列  $b(i-4)$ 、 $b(i-3)$ 、 $\dots$ 、 $b(i)$  が特定パターンである「00111」、「00011」、「11000」、「11100」のいずれかと一致するか否かを判定し、一致した場合には一致信号をタップ係数更新回路 10 に伝える。特定パターンについてはさらに後述するが、ビタビ復号にとって理想的な波形（理想波形）を構成する理想波形信号列を想定した場合に、この理想波形信号列に基づくパスメトリック差が予め定めた特定値となるようなビット列のパターンである。特定パターン検出回路 7 は、このような特定パターンを復号ビット列  $b(i)$  から検出する回路である。

#### 【0088】

タップ係数更新回路 10 は、特定パターン検出回路 7 から一致信号が伝えられると、目標値レジスタ 8 からの目標値  $d_s$  に対する、ビタビ復号回路 5 からのパスメトリック差  $s(n)$  の誤差  $\{s(n) - d_s\}$  と、再生信号列  $u(i-k, n)$  に所定の重み付けを施した一次多項式  $\{u(-2-k, n) + 2u(-1-k, n) + u(-k, n)\}$  との積により、タップ係数  $c(k, n)$  を補正する。つまり、タップ係数更新回路 10 は、目標値  $d_s$  に対する、ビタビ復号回路 5 にて実際に検出されたパスメトリック差  $s(n)$  の誤差  $\{s(n) - d_s\}$  に基づいて、FIR フィルタ 4 の等化特性の適応化を行うものである。タップ係数更新回路 10 は、具体的には (1) 式を計算することになる。

#### 【0089】

ここで、パスメトリック差  $s(n)$  と再生信号列  $u(i-k, n)$  との対応関係について図 4 に基づいて説明する。特定パターンに一致する  $n$  番目の復号ビット列として「00111」が検出された場合、この復号ビット列に対応する記録マークから再生された再生波形が図 4 のようであったとして、対応する再生信号列を  $u(-4, n)$ 、 $u(-3, n)$ 、 $u(-2, n)$ 、 $u(-1, n)$ 、 $u(0, n)$  とする。パスメトリック差  $s(n)$  は、再生信号列  $u(-4, n)$ 、 $u(-3, n)$ 、 $u(-2, n)$ 、 $u(-1, n)$ 、 $u(0, n)$  に対応する等化後信号列  $y(-4, n)$ 、 $y(-3, n)$ 、 $y(-2, n)$ 、 $y(-1, n)$ 、 $y(0, n)$  のうちの真ん中

の3つ、すなわち、 $y(-3,n)$ 、 $y(-2,n)$ 、 $y(-1,n)$ から求められる（後述する（3）式参照）。

#### 【0090】

（1）式における $\mu$ はステップゲインを表し、この値が適当な値に設定されていれば、この更新動作を繰り返すうちにタップ係数 $c(k,i)$ は所定値に収束していく。なお、係数補正項（（1）式の右辺第2項）に掛ける正負符号（±）は、特定パターン検出回路7により検出された特定パターンによって決まり、「00111」または「11100」の場合は負、「11000」または「00011」の場合は正となる。

#### 【0091】

（1）式によるタップ係数の更新動作を繰り返して最終的に収束したタップ係数によりFIRフィルタ4で等化した等化後信号のパスメトリック差 $s(n)$ の、目標値 $d_s$ に対する平均二乗誤差 $E[\{s(n)-d_s\}^2]$ （ $E[\ ]$ は期待値演算子）は最小となり、この場合、ビタビ復号で復号される復号ビットのエラーレートは最良となる。

#### 【0092】

そこで、ビタビ復号回路5が、等化後信号列 $y(i-1,n)$ に基づくビタビ復号過程の進展にともなって順次対決する正解パスと誤りパスとのパスメトリック差 $s(n)$ を順次検出していった場合に、各パスメトリック差 $s(n)$ にそれぞれ対応する誤差 $s(n)-d_s$ の平均二乗である平均二乗誤差 $E[\{s(n)-d_s\}^2]$ が最小値に近づくように、タップ係数更新回路10によるタップ係数の更新が行われるようになっている。なお、後述するように、タップ係数の更新を行うためには、必ずしも実際に平均二乗誤差を算出する必要はなく、更新動作を繰り返すことによって、結果として平均二乗誤差が最小値に近づくようにすればよい。

#### 【0093】

ここで、平均二乗誤差 $E[\{s(n)-d_s\}^2]$ を最小とすることによりエラーレートが最良になる理由、及びタップ係数更新回路10による更新動作により $E[\{s(n)-d_s\}^2]$ が最小となる理由について、詳細に説明する。

#### 【0094】

まず、 $E[\{s(n) - d_s\}^2]$  を最小とすることによりエラーレートが最良になる理由について説明する。

## 【 0 0 9 5 】

図 5 (a) は、(1, 7) RLL 符号のビットパターンに基づく、PR (1, 2, 1) 特性で想定するノイズの全くない理想波形について求めたパスメトリック差のヒストグラムを示すグラフである。図 5 (a) より、このパスメトリック差は、1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, …と離散的な複数の値（理想値）をとることが分かる。理想値が様々な値をとるのは、トレリス線図において、理想波形に対応する正解パスと同じ状態から出発して同じ状態に合流する誤りパスのパスメトリック差が、ビットパターンによって異なることに起因している。

## 【 0 0 9 6 】

図 6 に、パスメトリック差の各理想値と、各理想値に対応するビットパターンの対応関係を示す。理想値の度数が異なるのは、各理想値をとるビットパターンの種類の数異なるのに加え、(1, 7) RLL 符号のビットパターンにおいて各ビットパターンの出現頻度が異なっているためである。

## 【 0 0 9 7 】

一方、実際に光ディスクに記録した (1, 7) RLL 符号のビットパターンの再生信号について求めたパスメトリック差のヒストグラムを調べると、図 5 (b) に示すように、各理想値を中心としてパスメトリック差がばらついた分布となるとともに、複数の分布が重なり合った分布形状となっている。これは、再生信号には様々なノイズがのっていることに起因する。

## 【 0 0 9 8 】

このことから、再生信号のパスメトリック差の各理想値に対するばらつきが小さくなるように等化特性を決めることにより、誤りパスのパスメトリックから正解パスのパスメトリックを引いたパスメトリック差が 0 より小さくなる可能性を小さくでき、エラーレートを良好に低減できると考えられる。具体的には、復号ビット列毎に、対応するパスメトリック差の理想値を図 6 から求めて、その理想値を目標値  $d_s$  として平均二乗誤差  $E[\{s(n) - d_s\}^2]$  を最小とする構成に

すればよい。

#### 【0099】

更に、ビタビ復号においてエラーが発生しないためにはパスメトリック差 $>0$ である必要があることを考慮すると、最もエラーを起こしやすい理想値1.5のパスメトリック差のみについてばらつきを小さくするように等化特性を決めれば、エラーレートを最良に抑えることができると考えられる。すなわち、パスメトリック差の理想値が1.5となるようなビットパターン、つまり「00111」、「00011」、「11000」、「11100」の4種類のパターン（図6参照）を検出し、これらのビットパターンに対応するパスメトリック差 $s(n)$ と目標値 $d_s = 1.5$ との平均二乗誤差 $E[\{s(n) - d_s\}^2]$ を最小とするのがよい。なお、上記のように注目する理想値（特定値）に対応するビットパターンが特定パターンとなる。

#### 【0100】

このように、タップ係数更新回路10におけるタップ係数の更新は、特定パターン検出回路7にて特定パターンが検出されたときに、この特定パターンに対応するパスメトリック差の誤差に基づいて行われる。また、目標値レジスタ8は、目標値 $d_s$ としてパスメトリック差の理想値のうちの最小値を設定している。これにより、ビタビ復号過程においてエラーを起こしやすいパターンに特化して等化特性を最適化することができる。

#### 【0101】

次に、タップ係数更新回路10による更新動作により $E[\{s(n) - d_s\}^2]$ が最小となる理由について説明する。

#### 【0102】

特定パターンに一致する $n$ 番目のビットパターンとして、「00111」が検出されたとする。この場合、図7に示すように、ビタビ復号のトレリス線図では、正解パスは「 $\dots \rightarrow S(00) \rightarrow S(01) \rightarrow S(11) \rightarrow S(11)$ 」であり、この正解パスと最後の状態 $S(11)$ （図7中右端の $S(11)$ ）で合流する誤りパスは、この正解パスと理想波形が最も近い「 $\dots \rightarrow S(00) \rightarrow S(00) \rightarrow S(01) \rightarrow S(11)$ 」である場合がほとんどである。

## 【 0 1 0 3 】

この場合、それぞれのパスの理想波形におけるサンプルレベルは、正解パスが  $(-0.5, +0.5, +1)$  であり、誤りパスが  $(-1, -0.5, +0.5)$  である。したがって、これらに対応する等化後信号  $y(-3, n)$ 、 $y(-2, n)$ 、 $y(-1, n)$  を用いて、この場合のパスメトリック差  $s(n)$  は、次式

$$\begin{aligned} s(n) &= \{y(-3, n) - (-1)\}^2 + \{y(-2, n) - (-0.5)\}^2 + \{y(-1, n) - (+0.5)\}^2 \\ &\quad - \{y(-3, n) - (-0.5)\}^2 - \{y(-2, n) - (+0.5)\}^2 - \{y(-1, n) - (+1)\}^2 \\ &= y(-3, n) + 2y(-2, n) + y(-1, n) \quad \cdots (3) \end{aligned}$$

のように簡易的に求めることができる。

## 【 0 1 0 4 】

更に、(2) 式を用いることにより、次式のように表すことができる。

## 【 0 1 0 5 】

## 【数 2】

$$s(n) = \sum_{k=0}^2 c(k, n) \{u(-2-k, n) + 2u(-1-k, n) + u(-k, n)\} \quad \cdots (4)$$

## 【 0 1 0 6 】

すると、目標値  $ds$  に対するパスメトリック差  $s(n)$  の誤差  $e(n) = s(n) - ds$  の平均二乗 (平均二乗誤差)  $\varepsilon = E[e(n)^2]$  は、次式のようにになる。

## 【 0 1 0 7 】

## 【数 3】

$$\begin{aligned} \varepsilon &= E[\{s(n) - ds\}^2] \\ &= E[s(n)^2] - 2dsE[s(n)] + ds^2 \\ &= \sum_{k=0}^2 \sum_{m=0}^2 c(k, n)c(m, n)E[\{u(-2-k) + 2u(-1-k) + u(-k)\}\{u(-2-m) + 2u(-1-m) + u(-m)\}] \\ &\quad - 2ds \sum_{k=0}^2 c(k, n)E[\{u(-2-k) + 2u(-1-k) + u(-k)\}] + ds^2 \quad \cdots (5) \end{aligned}$$

## 【 0 1 0 8 】

なお、表現の簡素化のために、「 $u(i, n)$ 」を「 $u(i)$ 」のように略記している。(5) 式より、平均二乗誤差  $\varepsilon$  はタップ係数の二次関数、すなわち単一の最小点を有するボール状の曲面であることがわかる。このため、現時点での (5) 式の勾配 (微分値) の逆方向にタップ係数を動かしていけば、平均二乗誤差  $\varepsilon$  が次

第に最小点に近づくことになる。

【 0 1 0 9 】

(5) 式の勾配を求めるために平均二乗誤差  $\varepsilon$  をタップ係数  $c(k, n)$  で偏微分すると、次式のようにになる。

【 0 1 1 0 】

【数 4】

$$\begin{aligned} \partial \varepsilon / \partial c(k, n) &= -2E[u(-2-k) + 2u(-1-k) + u(-k)] ds \\ &+ 2 \sum_{m=0}^2 c(m, n) E[\{u(-2-k) + 2u(-1-k) + u(-k)\} \{u(-2-m) + 2u(-1-m) + u(-m)\}] \\ &\dots (6) \end{aligned}$$

【 0 1 1 1 】

更に  $ds = s(n) - e(n)$  を代入して (6) 式を整理すると、次式のようにになる。

【 0 1 1 2 】

【数 5】

$$\partial \varepsilon / \partial c(k, n) = 2E[e(n)\{u(-2-k, n) + 2u(-1-k, n) + u(-k, n)\}] \dots (7)$$

【 0 1 1 3 】

ここで、勾配、タップ係数、再生信号列をまとめて表記するために、次式のようなベクトル表記を用いることにする。

【 0 1 1 4 】

【数 6】

$$\nabla(n) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \partial \varepsilon / \partial c(0, n) \\ \partial \varepsilon / \partial c(1, n) \\ \partial \varepsilon / \partial c(2, n) \end{pmatrix} \dots (8)$$

【 0 1 1 5 】

【数 7】

$$C(n) = \begin{pmatrix} c(0, n) \\ c(1, n) \\ c(2, n) \end{pmatrix} \dots (9)$$

【 0 1 1 6 】



【数 8】

$$U(i,n) = \begin{pmatrix} u(i-2,n) \\ u(i-3,n) \\ u(i-4,n) \end{pmatrix} \quad \dots (10)$$

【 0 1 1 7】

なお、勾配ベクトル $\nabla(n)$ の右辺に $1/2$ が掛けてあるのは、後の式の表現上の都合であり本質的なものではない。タップ係数ベクトル $C(n)$ を勾配ベクトル $\nabla(n)$ の逆方向に補正していけば、平均二乗誤差 $\varepsilon$ は最小点に近づいていくので、タップ係数補正アルゴリズムは、ステップゲインを $\mu$ （正定数値）として、次式

$$C(n+1) = C(n) - \mu \nabla(n) \quad \dots (11)$$

に基づけばよい。

【 0 1 1 8】

(7) 式より、勾配ベクトル $\nabla(n)$ は、次式

$$\nabla(n) = E [ \{ s(n) - d s \} \{ U(0,n) + 2 U(1,n) + U(2,n) \} ] \quad \dots (12)$$

のように目標値 $d s$ に対するパスメトリック差 $s(n)$ の誤差と、再生信号ベクトルの一次結合との積の平均として求められる。

【 0 1 1 9】

しかし、平均値 $E [ \{ s(n) - d s \} \{ U(0,n) + 2 U(1,n) + U(2,n) \} ]$ をリアルタイムで求めることは困難であるため、この平均値の瞬時推定値、すなわち目標値 $d s$ に対するパスメトリック差 $s(n)$ の誤差と、再生信号ベクトルの一次結合との積そのものを用いて、次式

$$\nabla(n) = \{ s(n) - d s \} \{ U(0,n) + 2 U(1,n) + U(2,n) \} \quad \dots (13)$$

とすることが実用的であり、タップ係数の収束値は、平均を用いる(12)式の場合とほとんど変わらないことも理論的に保証される。

【 0 1 2 0】

なお、パスメトリック差の理想値が1.5となる他のビットパターン「00011」、「11100」、「11000」の場合については、上記と同様に考えることができるので詳細な説明は省略する。但し、「11100」の場合は上記と全く同様に $s(n) = y(-3,n) + 2 y(-2,n) + y(-1,n)$ となるので結果が同じに

なるが、「00011」及び「11000」の場合は、 $s(n) = -\{y(-3,n) + 2y(-2,n) + y(-1,n)\}$  となるので、 $\nabla(n) = -\{s(n) - ds\} \{U(0,n) + 2U(1,n) + U(2,n)\}$  となることに注意する必要がある。以上をまとめると、

(a) 「00111」「11100」の場合：

$$\nabla(n) = \{s(n) - ds\} \{U(0,n) + 2U(1,n) + U(2,n)\}$$

(b) 「00011」「11000」の場合：

$$\nabla(n) = -\{s(n) - ds\} \{U(0,n) + 2U(1,n) + U(2,n)\}$$

として勾配ベクトルを求めた上で、(11)式によってタップ係数ベクトルを更新していけば、目標値に対するパスメトリック差の平均二乗誤差  $\varepsilon$  を最小とすることができる。

#### 【0121】

そこで、タップ係数更新回路10では、各タップ係数を変数として作成される平均二乗誤差  $\varepsilon = E[e(n)^2]$  の代わりに、各タップ係数を変数として作成される誤差  $e(n)$  の二乗値を表す関数  $e(n)^2 = \{s(n) - ds\}^2$  を最小値に近づけるように各タップ係数を更新することにより、FIRフィルタ4の等化特性の適応化を行うようにする。

#### 【0122】

そのために、タップ係数更新回路10は、各タップ係数  $c(k,n)$  から、当該タップ係数  $c(k,n)$  による上記関数  $e(n)^2 = \{s(n) - ds\}^2$  の偏微分結果である勾配  $\{s(n) - ds\} \{u(-2-k,n) + 2u(-1-k,n) + u(-k,n)\}$  の定数倍を減算することによって、各タップ係数  $c(k,n)$  を  $c(k,n+1)$  に更新する((1)式参照)。

#### 【0123】

タップ係数更新回路10には、勾配を算出する演算として、誤差  $e(n) = \{s(n) - ds\}$  と、再生信号列のうち誤差  $e(n)$  を生じたパスメトリック差  $s(n)$  に対応するパスを構成する再生信号列  $u(-4,n)$ 、 $u(-3,n)$ 、 $u(-2,n)$ 、 $u(-1,n)$ 、 $u(0,n)$  に対して予め定められる重み付けをして加算した値  $\{u(-2-k,n) + 2u(-1-k,n) + u(-k,n)\}$  との積の演算が予め設定されている。この重み付けは、更新しようとしているタップ係数  $c(k,n)$  が、複数のタップ係数  $c(0,n)$ 、 $c(1,n)$ 、

$c(2,n)$ のうちの何れであるか、及びビタビ復号回路5がどのようなパーシャルレスポンス特性を想定しているかによって定めることができる。このように、タップ係数更新回路10に上記の演算を予め設定しておくことにより、加算や乗算などの簡単な演算の組合せで上記勾配を算出し、タップ係数を更新することができる。

## 【0124】

なお、上記説明では、理論展開上の必要からパスメトリック差  $s(n)$  を  $s(n) = y(-3,n) + 2y(-2,n) + y(-1,n)$  として簡易的に求めているが、上記アルゴリズムにおける  $\{s(n) - ds\}$  を求めるためのパスメトリック差  $s(n)$  自体は、回路実装の都合に合わせて、実際のビタビ復号回路で合流する2本のパスのパスメトリック差から求めてもよいし、上記の式に従って簡易的に求めてももちろん構わない。

## 【0125】

図8は、実際の光ディスク再生装置20により上記適応等化を行って求めたタップ係数の収束状況を示すグラフである。動作が分かりやすいように、初期値を  $c(0,0) = 0$ 、 $c(1,0) = 1$ 、 $c(2,0) = 0$  に設定している。図8からわかるように、各タップ係数は所定値に収束していき、最終的には、 $c(0,n)$  及び  $c(2,n)$  は -1 程度、 $c(1,n)$  は +3 程度に収束している。このときのビットエラーレートを測定すると、 $2 \times 10^{-6}$  と極めて良好であった。

## 【0126】

一方、比較のために、従来のLMS法を用いた波形等化装置50（図14参照）により、目標波形をPR(1, 2, 1)理想波形としてタップ係数を求めたところ、 $c(0,n)$  及び  $c(2,n)$  は -1 程度、 $c(1,n)$  は +2.8 程度に収束した。このときのエラーレートを測定すると、 $3 \times 10^{-5}$  程度であった。

## 【0127】

この結果から、周波数特性が不明な再生系に対して、本発明の適応等化を行うことによって、エラーレートを低く抑えられることが確認できた。

## 【0128】

以上で説明したように、目標値に対するパスメトリック差の平均二乗誤差が最

小となるように等化特性を適応化することにより、パスメトリック差のヒストグラムにおいて、パスメトリック差のばらつきを最小にすることができるので、エラーレートを低く抑えることが可能となる。

#### 【 0 1 2 9 】

また、パスメトリック差の理想値が所定値となる特定パターンが復号ビット列から検出された時に等化適応化を行うことが望ましい。これにより、エラーを起こしやすいビットパターンのみに特化して等化特性を最適化できるため、エラーレートをより一層低く抑えることが可能となる。特にその所定値として、すべてのあり得るビットパターンに対応する理想波形について求めたパスメトリック差から、最小値、あるいは最小値側から順に選択した複数の値を用いれば、エラーを起こしやすいパスメトリック差のみについてそのばらつきを小さくすることができるため、エラーレートをより一層低く抑えることが可能となる。

#### 【 0 1 3 0 】

なお、パスメトリック差の理想値が所定値となる特定パターンが復号ビット列から検出された時に限らず、ビタビ復号過程において生き残る正解パスに対応するビット列のパターンである復号パターンがビタビ復号回路 5 から出力される毎に等化適応化を行ってもよい。そのためには、目標値レジスタ 8 は、ビタビ復号回路 5 から出力される復号パターンに対応するパスメトリック差に対して、ビタビ復号回路 5 から出力される復号パターンに対応するパスメトリック差の理想値を、目標値  $d_s$  として設定する。この場合、目標値レジスタ 8 が図 6 のように、復号パターンとして想定される様々なパターンと、それに対応するパスメトリック差の理想値を記憶しておればよい。

#### 【 0 1 3 1 】

また、上記の説明では、理想値を目標値  $d_s$  として設定する場合について説明したが、実際のパスメトリック差の分布特性を考慮して、理想値に対して適宜補正を加えた値を目標値  $d_s$  としてもよい。

#### 【 0 1 3 2 】

上記の説明においては、ビタビ復号回路 5 がパスメトリック差  $s(n)$ 、及びビタビ復号結果である復号ビット列  $b(i)$  を出力する構成であったが、復号ビット

列  $b(i)$  の出力は再生信号  $u(i, n)$  の入力に対してビタビ復号のパスメモリ長だけ遅延するので、結果的にタップ係数更新回路 10 によるタップ係数の更新はパスメモリ長だけ遅れることになる。

## 【0133】

ここで、特定パターン検出回路 7 に入力する復号ビット列は、特定パターンの検出に用いられるが、この復号ビット列に多少の検出ミスがあったとしても、ステップゲイン  $\mu$  が十分に小さければ、その検出ミスはほとんど悪影響を与えず、実用上問題がない。したがって、特定パターン検出回路 7 に入力する復号ビット列は、通常の情報データビット列の復号に要求されるエラーレート ( $1 \times 10^{-4}$  以下) よりも悪いエラーレートでも構わない。

## 【0134】

そこで、特定パターン検出回路 7 に入力する復号ビット列を生成するためのビタビ復号のパスメモリ長を、情報データビット列の復号のために行うビタビ復号よりも短くしてもよい。この場合、特定パターン検出回路 7 に入力する復号ビット列  $b(i)$  は、ビタビ復号回路 5 において、情報データビット列の復号のためのビタビ復号におけるパスメモリ長よりも短いパスメモリ長でビタビ復号を行って生成されることになる。これにより、タップ係数更新回路 10 におけるタップ係数更新の遅れを小さくすることができ、適応化の遅れを短くして応答性の優れた適応化を実現することが可能になる。

## 【0135】

上記の説明では、PR (1, 2, 1) 特性と、(1, 7) RLL 符号とを組み合わせた再生系にて理想サンプルレベルを  $\pm 1$  に正規化したために、パスメトリック差の理想値の最小値が 1.5 となったが、これを一般化すると、PR 特性がインパルス応答 (a, b, a) で表される PRML 再生系の場合、パスメトリック差の理想値の最小値は  $2a^2 + b^2$  となる。例えば、上記例の場合は、 $a = 0.5$ 、 $b = 1$  であるので、パスメトリック差の理想値の最小値が  $2 \times 0.5^2 + 1^2 = 1.5$  となっている。

## 【0136】

したがって、再生信号列の元ビット列の変調方式が  $d = 1$  なるランレングス制

限符号であり、ビタビ復号回路 5 が、孤立マークのインパルス応答を  $(a, b, a)$  と想定し、かつ、再生信号列のランレングス制限を考慮しているとき、目標値レジスタ 8 は目標値  $d_s$  を  $(2a^2 + b^2)$  に設定し、特定パターン検出回路 7 は特定パターンとして「00111」、「00011」、「11000」、「11100」を検出することになる。

【0137】

また、上記の説明では、説明の簡略化のために FIR フィルタ 4 のタップ数  $M$  を 3 としたが、これに限る必要はなく、より高次のフィルタを用いても本発明を同様に適用できることはもちろんである。PR 特性がインパルス応答  $(a, b, a)$  で表される PRML 再生系における、一般的なフィルタ数  $M$  の場合の詳細な説明はここでは省略するが、結論だけ書けば、 $M$  次のタップ係数ベクトル  $C(n) = [c(0,n), c(1,n), \dots, c(M-1,n)]$  ( $c(k,n)$  は  $k$  タップ目のタップ係数)、再生信号ベクトル  $U(i,n) = [u(i-2,n), u(i-3,n), \dots, u(i-M-1,n)]$  ( $u(-M-1,n), u(-M,n), \dots, u(0,n)$  は  $n$  番目の特定パターンに対応する  $(M+2)$  個の再生信号列)、目標値  $d_s$ 、パスメトリック差  $s(n)$ 、勾配ベクトル  $\nabla(n)$  に対して、

(a) 「00111」「11100」が検出された場合：

$$\nabla(n) = \{s(n) - d_s\} \{a U(0,n) + b U(1,n) + a U(2,n)\}$$

(b) 「00011」「11000」が検出された場合：

$$\nabla(n) = - \{s(n) - d_s\} \{a U(0,n) + b U(1,n) + a U(2,n)\}$$

として勾配ベクトルを求め、(11) 式によりタップ係数ベクトルを更新していけばよい。

【0138】

また、上記では、PRML の方式として、波形干渉幅が  $3T$  である PR (1, 2, 1) (一般形 PR  $(a, b, a)$ ) 特性を前提として説明したが、波形干渉幅が  $2T$  及び  $4T$  の場合についても、簡単に説明しておく。

【0139】

まず、波形干渉幅が  $2T$  の場合について説明する。この場合、PRML の想定するインパルス応答は PR  $(a, a)$  で表される。ここでは、再生信号の変調方

式がd制約を持たない（ランレングス制限符号でない）場合を考える。

#### 【0140】

波形干渉幅が2Tの場合、トレリス線図はS(0)とS(1)の2状態となる。そして、パスメトリック差は、正解パス「v1、v2、v3」と、誤りパス「v1、v2'、v3」（v1、v2、v3は、0又は1のビットを表す。v2'はv2の反転ビットを表す。）について求めたものとなる。正解パスの理想波形値は、順にa v1 + a v2、a v2 + a v3であり、誤りパスの理想波形値は、順にa v1 + a v2'、a v2' + a v3であるので、パスメトリック差の理想値は、次式により、

$$(a v1 + a v2 - a v1 - a v2')^2 + (a v2 + a v3 - a v2' - a v3)^2 \\ = 2 a^2 (v2 - v2')^2 = 2 a^2 \dots (14)$$

と求めることができる。すなわち、パスメトリック差の理想値は、いかなる場合も $2 a^2$ であることが分かる。

#### 【0141】

したがって、ビタビ復号回路5が、孤立マークのインパルス応答を(a, a)と想定しているとき、目標値レジスタ8は目標値dsを $2 a^2$ に設定することになる。

#### 【0142】

ここで、パスメトリック差s(n)とデジタル再生信号u(i-k,n)との対応関係を図9に示す。ただし、図9は、タップ数（タップ係数ベクトルの次数）M=3の場合である。特定パターンに一致するn番目の復号ビット列として「010」が検出された場合、この復号ビット列に対応する記録マークから再生された再生波形が図9のようであったとして、対応する再生信号列をu(-3,n)、u(-2,n)、u(-1,n)、u(0,n)とする。なお、一般的にタップ数Mの場合、対応する再生信号列はu(-M,n)、…、u(0,n)の(M+1)個である。パスメトリック差s(n)は、再生信号列u(-3,n)、u(-2,n)、u(-1,n)、u(0,n)に対応する等化後信号y(-3,n)、y(-2,n)、y(-1,n)、y(0,n)のうちの真ん中の2つ、すなわち、y(-2,n)、y(-1,n)から、以下のように簡易的に求めることができる。

$$s(n) = \{y(-2,n) - (a v1 + a v2')\}^2 + \{y(-1,n) - (a v2' + a v3)\}^2 \\ - \{y(-2,n) - (a v1 + a v2)\}^2 - \{y(-1,n) - (a v2 + a v3)\}^2$$

$$= (v_2 - v_2') \{ 2a(y(-2, n) + y(-1, n)) - 2a^2(1 + v_1 + v_3) \} \cdots (15)$$

なお、 $y(-2, n)$ 、 $y(-1, n)$ と再生信号との関係は次式の通りである。

【0 1 4 3】

【数 9】

$$y(-2, n) = \sum_{k=0}^2 c(k, n) u(-1-k, n) \quad \cdots (16)$$

【0 1 4 4】

【数 1 0】

$$y(-1, n) = \sum_{k=0}^2 c(k, n) u(-k, n) \quad \cdots (17)$$

【0 1 4 5】

以降、目標値  $d_s$  に対する  $s(n)$  の誤差  $e(n) = s(n) - d_s$  の平均二乗  $\varepsilon = E[e(n)^2]$  をタップ係数で偏微分して勾配ベクトル  $\nabla(n)$  を求め、タップ係数ベクトル  $C(n)$  を勾配ベクトル  $\nabla(n)$  の逆方向に補正していくアルゴリズムの導出は  $PR(1, 2, 1)$  の場合と全く同様であるので詳細な説明は省略する。

【0 1 4 6】

最終的なアルゴリズムにおいて  $PR(1, 2, 1)$  の場合と異なるのは、簡易的に求めたパスメトリック差  $s(n)$  の形が上記のようであることに起因して、勾配ベクトル  $\nabla(n)$  がビットパターンに応じて次のようになる点である。

(a) 「0 1 0」、「0 1 1」、「1 1 0」又は「1 1 1」の場合：

$$\nabla(n) = \{ s(n) - d_s \} \{ U(0, n) + U(1, n) \}$$

(b) 「0 0 0」、「0 0 1」、「1 0 0」又は「1 0 1」の場合：

$$\nabla(n) = - \{ s(n) - d_s \} \{ U(0, n) + U(1, n) \}$$

なお、再生信号ベクトルは、 $U(i, n) = [u(i-1, n), u(i-2, n), \cdots, u(i-M, n)]$  ( $u(-M, n)$ 、 $u(-M+1, n)$ 、 $\cdots$ 、 $u(0, n)$  は  $n$  番目の特定パターンに対応する ( $M+1$ ) 個の再生信号列) である。

【0 1 4 7】

次に、波形干渉幅が  $4T$  の場合について説明する。この場合、PRML の想定するインパルス応答は  $PR(a, b, b, a)$  で表される。ここでは、再生信号



の変調方式が  $d = 1$  制約を持つランレングス制限符号、すなわち最短マーク長が  $2T$  であるような変調方式である場合を考える。

## 【0148】

波形干渉幅が  $4T$  の場合、トレリス線図は  $S(000)$ 、 $S(001)$ 、 $S(011)$ 、 $S(100)$ 、 $S(110)$ 、 $S(111)$  の 6 状態となる ( $d = 1$  制約のために  $S(010)$  及び  $S(101)$  が存在しない)。そして、パスメトリック差の理想値が最小となるビットパターンは、誤りパスが正解パスに合流するまでの状態遷移数が最も少ない「 $x000110$ 」、「 $x000111$ 」、「 $x001110$ 」、「 $x001111$ 」、「 $x110000$ 」、「 $x110001$ 」、「 $x111000$ 」、「 $x111001$ 」(「 $x$ 」は 0, 1 のどちらでもよいことを表す。) の 8 種類のビットパターンである。

## 【0149】

これらのビットパターンに対応する正解パスを「 $v1$ 、 $v2$ 、 $v3$ 、 $v4$ 、 $v5$ 、 $v6$ 、 $v7$ 」と表すと、誤りパスは「 $v1$ 、 $v2$ 、 $v3$ 、 $v4'$ 、 $v5$ 、 $v6$ 、 $v7$ 」( $v1 \sim v7$  は 0 又は 1 のビットを表す。 $v4'$  は  $v4$  の反転ビットを表す。) と表せる。よって、正解パスの理想波形値は、順に  $av1 + bv2 + bv3 + av4$ 、 $av2 + bv3 + bv4 + av5$ 、 $av3 + bv4 + bv5 + av6$ 、 $av4 + bv5 + bv6 + av7$  であり、誤りパスの理想波形値は、順に  $av1 + bv2 + bv3 + av4'$ 、 $av2 + bv3 + bv4' + av5$ 、 $av3 + bv4' + bv5 + av6$ 、 $av4' + bv5 + bv6 + av7$  であるので、パスメトリック差の理想値は、次式により、

$$\begin{aligned} & (av1 + bv2 + bv3 + av4 - av1 - bv2 - bv3 - av4')^2 \\ & + (av2 + bv3 + bv4 + av5 - av2 - bv3 - bv4' - av5)^2 \\ & + (av3 + bv4 + bv5 + av6 - av3 - bv4' - bv5 - av6)^2 \\ & + (av4 + bv5 + bv6 + av7 - av4' - bv5 - bv6 - av7)^2 \\ & = 2(a^2 + b^2)(v2 - v2')^2 = 2(a^2 + b^2) \quad \dots \quad (18) \end{aligned}$$

と求めることができる。

## 【0150】

したがって、再生信号列の元ビット列の変調方式が  $d = 1$  なるランレングス制限符号であり、ビタビ復号回路 5 が、孤立マークのインパルス応答を ( $a$ 、 $b$ 、

b, a) と想定し、かつ、再生信号列のランレングス制限を考慮しているとき、目標値レジスタ 8 は目標値  $d_s$  を  $2(a^2 + b^2)$  に設定し、特定パターン検出回路 7 は特定パターンとして「000110」、「000111」、「001110」、「001111」、「110000」、「110001」、「111000」、「111001」を検出することになる。

【0151】

ここで、パスメトリック差  $s(n)$  とデジタル再生信号  $u(i-k, n)$  との対応関係を図 10 に示す。ただし、図 10 は、タップ数（タップ係数ベクトルの次数） $M = 5$  の場合である。特定パターンに一致する  $n$  番目の復号ビット列として「001110」が検出された場合、この復号ビット列に対応する記録マークから再生された再生波形が図 10 のようであったとして、対応する再生信号列を  $u(-7, n)$ 、 $u(-6, n)$ 、 $u(-5, n)$ 、 $u(-4, n)$ 、 $u(-3, n)$ 、 $u(-2, n)$ 、 $u(-1, n)$ 、 $u(0, n)$  とする。なお、一般的にタップ数  $M$  の場合、対応する再生信号列は  $u(-M-2, n)$ 、…、 $u(0, n)$  の  $(M+3)$  個である。パスメトリック差  $s(n)$  は、再生信号列  $u(-7, n)$ 、 $u(-6, n)$ 、 $u(-5, n)$ 、 $u(-4, n)$ 、 $u(-3, n)$ 、 $u(-2, n)$ 、 $u(-1, n)$ 、 $u(0, n)$  に対応する等化後信号  $y(-7, n)$ 、 $y(-6, n)$ 、 $y(-5, n)$ 、 $y(-4, n)$ 、 $y(-3, n)$ 、 $y(-2, n)$ 、 $y(-1, n)$ 、 $y(0, n)$  のうちの 4 つ、すなわち、 $y(-5, n)$ 、 $y(-4, n)$ 、 $y(-3, n)$ 、 $y(-2, n)$  から、以下のように簡易的に求めることができる。

$$\begin{aligned}
 s(n) = & \{y(-5, n) - (a v_1 + b v_2 + b v_3 + a v_4')\}^2 \\
 & + \{y(-4, n) - (a v_2 + b v_3 + b v_4' + a v_5)\}^2 \\
 & + \{y(-3, n) - (a v_3 + b v_4' + b v_5 + a v_6)\}^2 \\
 & + \{y(-2, n) - (a v_4' + b v_5 + b v_6 + a v_7)\}^2 \\
 & - \{y(-5, n) - (a v_1 + b v_2 + b v_3 + a v_4')\}^2 \\
 & - \{y(-4, n) - (a v_2 + b v_3 + b v_4' + a v_5)\}^2 \\
 & - \{y(-3, n) - (a v_3 + b v_4' + b v_5 + a v_6)\}^2 \\
 & - \{y(-2, n) - (a v_4' + b v_5 + b v_6 + a v_7)\}^2 \\
 = & (v_4 - v_4') \{2(a y(-5, n) + b y(-4, n) + b y(-3, n) + a y(-2, n)) \\
 & - 2a^2(v_1 + v_7) - 4ab(v_2 + v_6) - 2b(2a + b)(v_3 + v_5)\} \dots (19)
 \end{aligned}$$

なお、 $y(-5, n)$ 、 $y(-4, n)$ 、 $y(-3, n)$ 、 $y(-2, n)$  と再生信号との関係は次式の通

りである。

【0 1 5 2】

【数 1 1】

$$y(-5, n) = \sum_{k=0}^4 c(k, n) u(-3 - k, n) \quad \dots (20)$$

【0 1 5 3】

【数 1 2】

$$y(-4, n) = \sum_{k=0}^4 c(k, n) u(-2 - k, n) \quad \dots (21)$$

【0 1 5 4】

【数 1 3】

$$y(-3, n) = \sum_{k=0}^4 c(k, n) u(-1 - k, n) \quad \dots (22)$$

【0 1 5 5】

【数 1 4】

$$y(-2, n) = \sum_{k=0}^4 c(k, n) u(-k, n) \quad \dots (23)$$

【0 1 5 6】

以降、目標値  $d_s$  に対する  $s(n)$  の誤差  $e(n) = s(n) - d_s$  の平均二乗  $\varepsilon = E[e(n)^2]$  をタップ係数で偏微分して勾配ベクトル  $\nabla(n)$  を求め、タップ係数ベクトル  $C(n)$  を勾配ベクトル  $\nabla(n)$  の逆方向に補正していくアルゴリズムの導出は  $PR(1, 2, 1)$  の場合と全く同様であるので詳細な説明は省略する。

【0 1 5 7】

最終的なアルゴリズムにおいて  $PR(1, 2, 1)$  の場合と異なるのは、簡易的に求めたパスメトリック差  $s(n)$  の形が上記のようにであることに起因して、勾配ベクトル  $\nabla(n)$  がビットパターンに応じて次のようになる点である。

(a) 「001110」、「001111」、「111000」又は「111001」の場合：

$$\nabla(n) = \{s(n) - d_s\} \{a U(0, n) + b U(1, n) + b U(2, n) + a U(3, n)\}$$

(b) 「000110」、「000111」、「110000」又は「110001」の場合：

$$\nabla(n) = -\{s(n) - d_s\} \{a U(0, n) + b U(1, n) + b U(2, n) + a U(3, n)\}$$

なお、再生信号ベクトルは、 $U(i,n) = [u(i-3,n), u(i-4,n), \dots, u(i-M-2,n)]$  ( $u(-M-2,n), u(-M-1,n), \dots, u(0,n)$ は $n$ 番目の特定パターンに対応する $(M+3)$ 個の再生信号列)である。

## 【 0 1 5 8 】

なお、以上の説明においては、PRML方式としてPR(a, a)、PR(a, b, a)、PR(a, b, b, a)の場合を説明したが、本発明の主旨の範囲内で、他のPRML方式の場合に適用することも、もちろん可能である。

## 【 0 1 5 9 】

また、以上の説明においては、 $d = 1$ のランレングス制限符号として(1, 7) RLL符号を用いたが、これらに限らないことはもちろんである。

## 【 0 1 6 0 】

## 〔実施形態2〕

本発明の第2の実施形態について、図11に基づいて説明すれば、以下の通りである。なお、本実施形態において、実施形態1で説明した構成要素と同一の機能を有する構成要素については、同一の符号を付記してその説明を省略する。

## 【 0 1 6 1 】

本実施形態の光ディスク再生装置21では、既知のビット列が記録された光ディスク1'を用いて等化特性の調整を行うものであり、その既知のビット列は参照ビット列として参照ビット列記憶メモリ11に記憶されている。この光ディスク1'としては、既知のビット列が記録された等化特性調整用トラックが設けられているようなものを想定している。

## 【 0 1 6 2 】

光ディスク1'から既知のビット列が再生されると、再生される既知のビット列と同じビット列 $b'(i)$ が、再生される既知のビット列と同期して、参照ビット列記憶メモリ11から特定パターン検出回路7に対して入力される。つまり、参照ビット列記憶メモリ11(メモリ手段)は、予め定められた参照ビット列を記憶し、かつ、参照ビット列に復号されるべき参照信号列が再生信号列として入力された場合に、参照信号列と同期して参照ビット列を出力する。

## 【 0 1 6 3 】

以降、特定パターン検出回路 7 がビット列  $b'(i)$  に基づいて特定パターンを検出したときに、タップ係数更新回路 10 が FIR フィルタ 4 のタップ係数を更新していく動作は、実施形態 1 と同様であるので、詳細な説明は省略する。

#### 【0164】

この光ディスク再生装置 21 では、ピタビ復号の遅延による時間差が発生しない。つまり、 $b'(i)$  と  $s(n)$  及び  $u(i,n)$  との時間差が発生しない。このため、光ディスク再生装置 21 では、実施形態 1 の光ディスク再生装置 20 で必要であったパスメモリ長遅延素子 6 が不要となる。

#### 【0165】

このように、光ディスク再生装置 21 では、既知の参照ビット列を用いることによって、タップ係数更新回路 10 によるタップ係数の更新の遅延をなくし、応答性の優れた適応等化を実現することが可能となる。

#### 【0166】

なお、実施形態 1 と同様に、再生信号のパスメトリック差の各理想値に対するばらつきが小さくなるように、参照ビット列に含まれる復号パターン毎に、対応するパスメトリック差の理想値を目標値レジスタ 8 が目標値  $d_s$  として設定し、平均二乗誤差  $E[\{s(n) - d_s\}^2]$  を最小とする構成にしてもよい。

#### 【0167】

以上のように、実施形態 1 及び 2 では、情報再生装置の例として光ディスク再生装置について説明したが、本発明はこれに限らず、PRML 方式の信号再生を行う装置において等しくその効果を発揮することができる。すなわち、他の情報再生装置としてのハードディスク装置や磁気テープ装置などの磁気記録再生装置はもちろん、通信データ受信装置などの通信装置にも本発明を適用することができる。

#### 【0168】

一例として、図 12 に、実施形態 1 の光ディスク再生装置 20 に対応する通信データ受信装置 30（通信装置）の構成を示す。なお、ここでは、実施形態 1 に対応する構成について説明するが、実施形態 2 に対応する構成とすることも可能である。

## 【0169】

通信データ受信装置30は、光ディスク再生装置20における光学ピックアップ2の代わりに、通信経路（図12では無線による通信経路を想定しているが、有線による通信経路であってもよい。）を介して伝送されてくる通信波形を受信する受信器31（受信手段）を備えている。なお、それ以外の構成は光ディスク再生装置20と同一であるため、ここでは説明を省略する。

## 【0170】

また、実施形態1及び2で説明した波形等化装置の各ブロックは、ハードウェアロジックによって構成してもよいし、次のようにコンピュータを用いてソフトウェアによって実現してもよい。

## 【0171】

すなわち、波形等化装置（図1若しくは図11の光ディスク再生装置20・21のうち、光ディスク1、光学ピックアップ2、及びA/D変換器3を除いた装置、又は図12の通信データ受信装置30のうち、受信器31、及びA/D変換器3を除いた装置）は、この装置の各機能を実現する波形等化プログラムの命令を実行するCPU（central processing unit）、上記プログラムを格納したROM（read only memory）、上記プログラムを展開するRAM（random access memory）、上記プログラムおよび各種データを格納するメモリ等の記憶装置（記録媒体）などを備えたコンピュータによって実現することもできる。つまり、本発明の目的は、上述した機能を実現するソフトウェアである波形等化プログラムのプログラムコード（実行形式プログラム、中間コードプログラム、ソースプログラム）をコンピュータで読み取り可能に記録した記録媒体を、コンピュータに供給し、そのコンピュータが記録媒体に記録されているプログラムコードを読み出し実行することによっても、達成可能である。この場合、記録媒体から読み出されたプログラムコード自体が上述した機能を実現することになり、そのプログラムコードを記録した記録媒体は本発明を構成することになる。

## 【0172】

このように本明細書において、手段とは必ずしも物理的手段を意味するものではなく、各手段の機能がソフトウェアによって実現される場合も包含する。さら

に、一つの手段の機能が、二つ以上の物理的手段により実現されても、もしくは、二つ以上の手段の機能が、一つの物理的手段により実現されてもよい。

#### 【 0 1 7 3 】

以上のように、本発明の波形等化装置は、ビタビ復号可能な入力信号列（再生信号列）を波形等化しつつ、その等化特性を適応化する波形等化装置である。そして、この波形等化装置は、入力信号列に基づいて波形等化を行うことで等化後信号列を生成する等化手段（FIRフィルタ4）と、等化後信号列に基づくビタビ復号過程における正解パスと誤りパスとのパスメトリック差を検出するパスメトリック差検出手段（ビタビ復号回路5）と、パスメトリック差の目標値を設定する目標値設定手段（目標値レジスタ8）と、検出されたパスメトリック差の目標値に対する誤差に基づいて、適応化を行う等化適応化手段（タップ係数更新回路10）と、を備えている。

#### 【 0 1 7 4 】

本発明の波形等化装置では、パスメトリック差を用いて等化特性の適応化を行うことにより、適応化に対してエラーレートを考慮に入れることができ、復号によるエラーレートをより良好に低減することができるようになる。また、本発明の波形等化装置では、所定のパスに対しては理想的なパスメトリック差が定まること、及び実際に検出されるパスメトリック差はこの理想的なパスメトリック差に対してばらつきを有していることに着目し、まずパスメトリック差の目標値を設定しておき、実際に検出されたパスメトリック差と設定した目標値との誤差に基づいて等化特性を適応化するようにしている。これにより、パスメトリック差の標準偏差等を算出してこれを最小化するように等化特性を適応化する場合と比較して、必要な演算を格段に簡素化することができる。

#### 【 0 1 7 5 】

なお、本発明の波形等化装置は、次のような装置であるともいえる。すなわち、本波形等化装置は、入力信号に対して波形等化を行う等化手段と、前記等化手段の出力について、ビタビ復号過程において合流する2本のパスのパスメトリック差を求めるパスメトリック差検出手段と、目標値に対する前記パスメトリック差の平均二乗誤差が最小となるように前記等化手段の等化特性を適応化していく

等化適応化手段とを有している。

【 0 1 7 6 】

また、本波形等化装置は、前記等化手段が、入力信号ベクトルとタップ係数ベクトルとを畳み込み演算する F I R フィルタからなり、前記等化適応化手段が、前記目標値に対する前記パスメトリック差の平均二乗誤差が最小となるように前記 F I R フィルタのタップ係数ベクトルを更新していく。

【 0 1 7 7 】

また、本波形等化装置は、前記タップ係数ベクトルによる前記平均二乗誤差の微分である勾配ベクトルを求める勾配ベクトル計算手段を備え、前記等化適応化手段が、前記勾配ベクトルのスカラー倍を減算することによって前記タップ係数ベクトルを補正する。

【 0 1 7 8 】

また、本波形等化装置は、前記勾配ベクトル計算手段が、前記目標値に対する前記パスメトリック差の誤差と前記入力信号ベクトルの一次結合との積の平均を求めて、前記勾配ベクトルとして出力する。

【 0 1 7 9 】

また、本波形等化装置は、前記勾配ベクトル計算手段が、前記目標値に対する前記パスメトリック差の誤差と前記入力信号ベクトルの一次結合との積を求めて、前記勾配ベクトルとして出力する。

【 0 1 8 0 】

また、本波形等化装置は、前記入力信号を復号して復号ビット列を求める復号手段と、対応する理想波形について求めた前記パスメトリック差が所定値となるような特定パターンを、前記復号ビット列から検出するパターン検出手段を備え、前記等化適応化手段が、前記特定パターンが検出された時だけ前記等化手段の等化特性の適応化を行う。

【 0 1 8 1 】

また、本波形等化装置は、前記入力信号からビタビ復号により情報データビットを復号するための情報データ復号手段を備え、前記復号手段が、前記情報データ復号手段よりも短いパスメモリ長でビタビ復号を行って復号ビットを求める。



## 【 0 1 8 2 】

また、本波形等化装置は、前記入力信号が既知の参照ビット列からの信号であり、前記参照ビット列を記憶するメモリ手段と、対応する理想波形について求めた前記パスメトリック差が所定値となるような特定パターンを、前記参照ビット列から検出するパターン検出手段を備え、前記等化適応化手段が、前記特定パターンが検出された時だけ前記等化手段の等化特性の適応化を行う。

## 【 0 1 8 3 】

また、本波形等化装置は、前記等化適応化手段が、前記パスメトリック差の所定値を、前記目標値として設定する。

## 【 0 1 8 4 】

また、本波形等化装置は、前記等化適応化手段が、すべてのあり得るパターンに対応する理想波形について求めた前記パスメトリック差の最小値を、前記所定値とする。

## 【 0 1 8 5 】

また、本波形等化装置は、前記等化適応化手段が、すべてのあり得るパターンに対応する理想波形について求めた前記パスメトリック差のうち、小さな値を複数選んで、前記所定値とする。

## 【 0 1 8 6 】

また、本波形等化装置は、前記入力信号を復号して復号ビット列を求める復号手段を備え、前記等化適応化手段が、各時刻における前記復号ビット列に対応する理想波形について求めた前記パスメトリック差を、前記目標値として設定する。

## 【 0 1 8 7 】

また、本波形等化装置は、前記入力信号が既知の参照ビット列の再生信号であり、前記参照ビット列を記憶するメモリ手段を備え、前記等化適応化手段が、各時刻における前記参照ビット列に対応する理想波形について求めた前記パスメトリック差を、前記目標値として設定する。

## 【 0 1 8 8 】

本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲

で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

【0189】

【発明の効果】

以上のように、本発明の波形等化装置は、入力信号列に基づいて波形等化を行うことで等化後信号列を生成する等化手段と、等化後信号列に基づくビタビ復号過程における正解パスと誤りパスとのパスメトリック差を検出するパスメトリック差検出手段と、パスメトリック差の目標値を設定する目標値設定手段と、検出されたパスメトリック差の目標値に対する誤差に基づいて、適応化を行う等化適応化手段と、を備える構成である。

【0190】

また、本発明の波形等化方法は、入力信号列に基づいて波形等化を行うことで等化後信号列を生成する等化ステップと、等化後信号列に基づくビタビ復号過程における正解パスと誤りパスとのパスメトリック差を検出するパスメトリック差検出ステップと、パスメトリック差の目標となる値として設定された目標値に対する、検出されたパスメトリック差の誤差に基づいて、適応化を行う等化適応化ステップと、を含む方法である。

【0191】

上記の構成及び方法では、パスメトリック差を用いて等化特性の適応化を行うことにより、適応化に対してエラーレートを考慮に入れることができ、復号によるエラーレートをより良好に低減することができるようになる。

【0192】

上記の構成及び方法のように、まずパスメトリック差の目標値を設定しておき、実際に検出されたパスメトリック差と設定した目標値との誤差に基づいて等化特性を適応化することにより、パスメトリック差の標準偏差等を算出してこれを最小化するように等化特性を適応化する場合と比較して、必要な演算を格段に簡素化することができる。

【0193】

その結果、上記の構成及び方法により、復号によるエラーレートをより良好に

低減することができる波形等化装置及び方法を実現することができる。

【0194】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、各パスメトリック差にそれぞれ対応する誤差の平均二乗である平均二乗誤差が最小値に近づくように、等化適応化手段が適応化を行うことが望ましい。

【0195】

また、本発明の波形等化方法は、上記の波形等化方法において、各パスメトリック差にそれぞれ対応する誤差の平均二乗である平均二乗誤差が最小値に近づくように、等化適応化ステップによる適応化が行われることが望ましい。

【0196】

上記の構成及び方法のように、エラーレートを低減するためには、上記誤差の平均二乗である平均二乗誤差を最小値に近づけるように適応化を行えばよい。

【0197】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、等化適応化手段は、各等化係数を変数として作成される誤差の二乗値を表す関数を最小値に近づけるように各等化係数を更新することにより、適応化を行うことが望ましい。

【0198】

また、本発明の波形等化方法は、上記の波形等化方法において、等化適応化ステップは、各等化係数を変数として作成される誤差の二乗値を表す関数を最小値に近づけるように各等化係数を更新することにより、適応化を行うことが望ましい。

【0199】

上記の構成及び方法では、等化係数の更新のために、各等化係数を変数として作成される上記誤差の二乗値を表す関数を想定し、この関数を最小値に近づける方向に各等化係数を更新することによる適応化を繰り返すことで、ビタビ復号過程の進展にともなって順次検出されるパスメトリック差に対応する上記誤差の平均二乗である平均二乗誤差を最小値に近づけることができる。その結果、復号によるエラーレートをより良好に低減することが可能になる。

【0200】

なお、上記関数を最小値に近づける方向に各等化係数を更新するには、等化適応化手段は、各等化係数から、当該等化係数による関数の偏微分結果である勾配の定数倍を減算することによって、各等化係数を更新すればよい。

#### 【 0 2 0 1 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、等化適応化手段には、勾配を算出する演算として、誤差と、当該誤差を生じたパスメトリック差に対応するパスを構成する入力信号列の各入力信号に予め定められた重み付けをして加算した値との積の演算が予め設定されていることが望ましい。

#### 【 0 2 0 2 】

上記の構成では、等化適応化手段に演算が予め設定されているため、加算や乗算などの簡単な演算の組合せで上記勾配を算出し、等化係数を更新することができる。その結果、上記の構成では、等化適応化手段をより簡単な回路構成で実現することができるようになる。

#### 【 0 2 0 3 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、等化適応化手段は、特定パターンが検出されたときに、等化後信号列における特定パターンに対応する信号列に基づいて検出されたパスメトリック差の誤差に基づいて、適応化を行うことが望ましい。

#### 【 0 2 0 4 】

上記の構成では、理想波形信号列に基づくパスメトリック差が特定値となるような特定パターンに基づいて適応化を行うことにより、ビタビ復号過程においてエラーを起こしやすいパターンに特化して等化特性を最適化することができる。

#### 【 0 2 0 5 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、情報データとして利用される情報データビット列を生成する情報データ復号手段を備え、復号手段は、情報データ復号手段の行うビタビ復号におけるパスメモリ長よりも短いパスメモリ長でビタビ復号を行って復号ビット列を生成することが望ましい。

#### 【 0 2 0 6 】

上記の構成では、パターン検出の遅延を小さくすることができる。その結果、

適応化の遅れを短くして応答性の優れた適応化を実現することが可能になる。

【 0 2 0 7 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、等化適応化手段は、特定パターンが検出されたときに、参照信号列における特定パターンに対応する信号列に基づいて検出されたパスメトリック差の誤差に基づいて、適応化を行うことが望ましい。

【 0 2 0 8 】

上記の構成では、復号手段により復号された復号ビット列に基づいてパターン検出を行う場合とは異なり、パターン検出の遅延をなくすことができ、さらに応答性の優れた適応化を実現することが可能になる。

【 0 2 0 9 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、目標値設定手段は、目標値として特定値を設定することが望ましい。

【 0 2 1 0 】

上記の構成では、検出されるパスメトリック差に対して、そのパスメトリック差が理想波形信号列に基づいて検出されたと想定したときの値を目標値として設定することになる。これにより、等化特性を最適化することができる。

【 0 2 1 1 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、特定値は、理想波形信号列に基づくパスメトリック差のとりうる値の最小値であることが望ましい。

【 0 2 1 2 】

ビタビ復号過程では、理想波形信号列に基づくパスメトリック差のとりうる値の最小値に対応するパターンにおいてエラーが最も発生しやすい。上記の構成では、このパターンを特定パターンとすることで、等化特性を最適化することができる。

【 0 2 1 3 】

なお、特定値は、理想波形信号列に基づくパスメトリック差のとりうる値のうち、最小値側から順に選択した複数の値であってもよい。

【 0 2 1 4 】

本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、目標値設定手段は、復号パターンが復号手段にて生成されると、等化後信号列における復号パターンに対応する信号列に基づいて検出されたパスメトリック差に対して、復号パターンに対応し、かつ、ビタビ復号にとって理想的な波形を構成する理想波形信号列を想定した場合の当該理想波形信号列に基づくパスメトリック差を、目標値として設定することが望ましい。

## 【 0 2 1 5 】

あるいは、本発明の波形等化装置は、上記の波形等化装置において、目標値設定手段は、復号パターンが参照ビット列としてメモリ手段から出力されると、等化後信号列における参照ビット列に復号されるべき信号列に基づいて検出されたパスメトリック差に対して、参照ビット列に対応し、かつ、ビタビ復号にとって理想的な波形を構成する理想波形信号列を想定した場合の当該理想波形信号列に基づくパスメトリック差を、目標値として設定することが望ましい。

## 【 0 2 1 6 】

上記の構成のように、生成される復号パターン毎に目標値を設定して様々な復号パターンに基づいて適応化を行ってもよい。

## 【 0 2 1 7 】

本発明の情報再生装置は、上記何れかの波形等化装置と、情報記録媒体から入力信号列を再生する再生手段と、を備えることを特徴としている。

## 【 0 2 1 8 】

また、本発明の通信装置は、上記何れかの波形等化装置と、通信経路を介して伝送されてくる入力信号列を受信する受信手段と、を備えることを特徴としている。

## 【 0 2 1 9 】

このように、本発明の波形等化装置を備える情報再生装置及び通信装置では、上記本発明の波形等化装置の有する効果により、復号によるエラーレートをより良好に低減することができる。

## 【 0 2 2 0 】

本発明の波形等化プログラムは、上記何れかの波形等化装置を動作させる波形

等化プログラムであって、コンピュータを各手段として機能させるためのプログラムである。

【0 2 2 1】

上記の構成により、コンピュータで上記波形等化装置の各手段を実現することによって、上記波形等化装置を実現することができる。したがって、上記した波形等化装置として、復号によるエラーレートをより良好に低減することができる。

【0 2 2 2】

また、本発明の波形等化プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体は、コンピュータを各手段として機能させるためのプログラムを記録している。

【0 2 2 3】

上記の構成により、上記記録媒体から読み出された波形等化プログラムによって、上記波形等化装置をコンピュータ上に実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施形態に係る光ディスク再生装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】

データビット列と、記録マークと、PR (1, 2, 1) 特性に従う再生波形及びそのサンプルレベルとの関係を示す模式図である。

【図 3】

トレリス線図を示す模式図である。

【図 4】

復号ビット列「0 0 1 1 1」と、記録マークと、再生波形及びそのサンプルレベルとの対応関係を説明するための模式図である。

【図 5】

(a) は理想波形のパスメトリック差のヒストグラムであり、(b) は実際の再生信号のパスメトリック差のヒストグラムである。

【図 6】

PR (1, 2, 1) ML と、(1, 7) RLL とを組み合わせた再生系におけるバスメトリック差の各理想値に対応するビットパターンの一覧表である。

【図 7】

ビット列「0 0 1 1 1」に対応するビタビ復号のトレリス線図を示す模式図である。

【図 8】

図 1 の光ディスク再生装置におけるタップ係数収束の実測結果を示すグラフである。

【図 9】

復号ビット列「0 1 0」と、記録マークと、再生波形及びそのサンプルレベルとの対応関係を説明するための模式図である。

【図 1 0】

復号ビット列「0 0 1 1 1 0」と、記録マークと、再生波形及びそのサンプルレベルとの対応関係を説明するための模式図である。

【図 1 1】

本発明の第 2 の実施形態に係る光ディスク再生装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 2】

本発明の実施形態に係る通信データ受信装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 3】

再生波形と、PR (1, 2, 1) 特性で想定する理想波形との関係を示すグラフである。

【図 1 4】

LMS 法による波形等化装置の構成を示す模式図である。

【符号の説明】

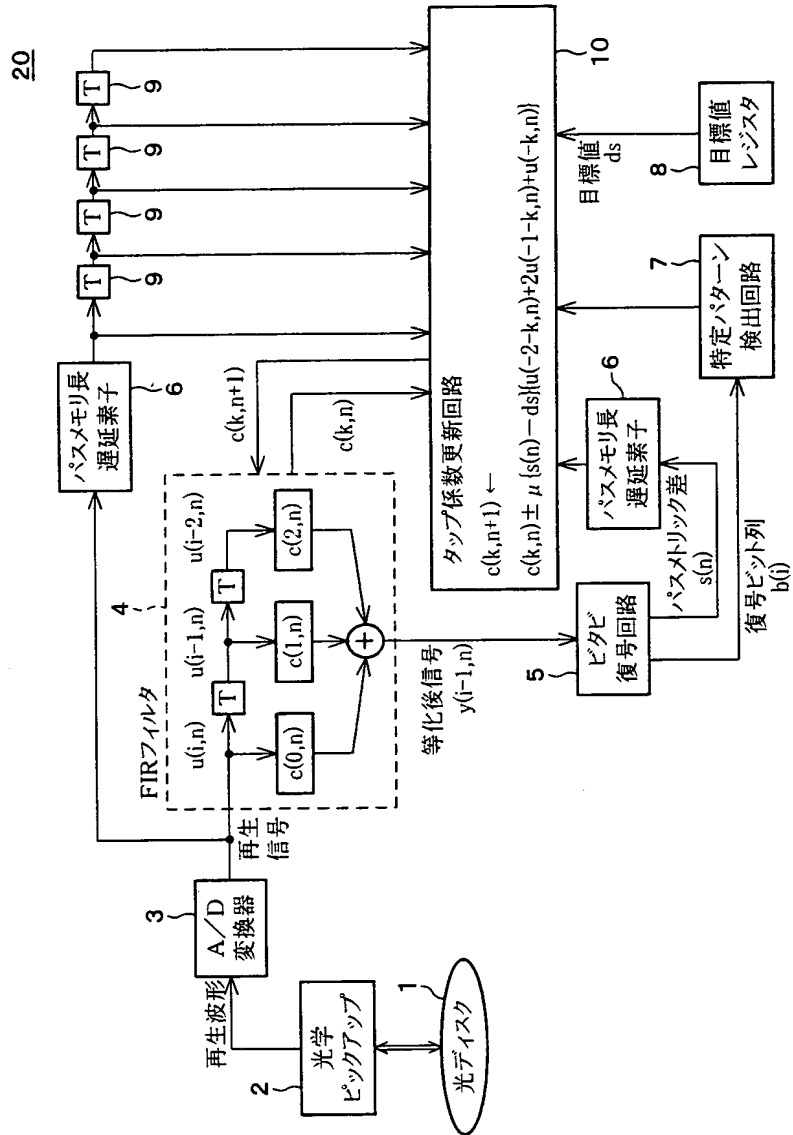
- 1 光ディスク（情報記録媒体）
- 2 光学ピックアップ（再生手段）
- 3 A/D 変換器



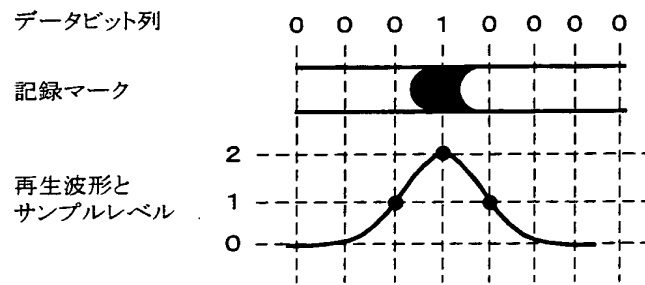
- 4     F I R フィルタ（等化手段）
- 5     ビタビ復号回路（復号手段、パスメトリック差検出手段、情報データ復号手段）
- 6     パスメモリ長遅延素子
- 7     特定パターン検出回路（パターン検出手段）
- 8     目標値レジスタ（目標値設定手段）
- 9     遅延素子
- 1 0   タップ係数更新回路（等化適応化手段）
- 1 1   参照ビット列記憶メモリ 1 1（メモリ手段）
- 2 0   光ディスク再生装置（情報再生装置）
- 2 1   光ディスク再生装置（情報再生装置）
- 3 0   通信データ受信装置（通信装置）
- 3 1   受信器（受信手段）

【書類名】 図面

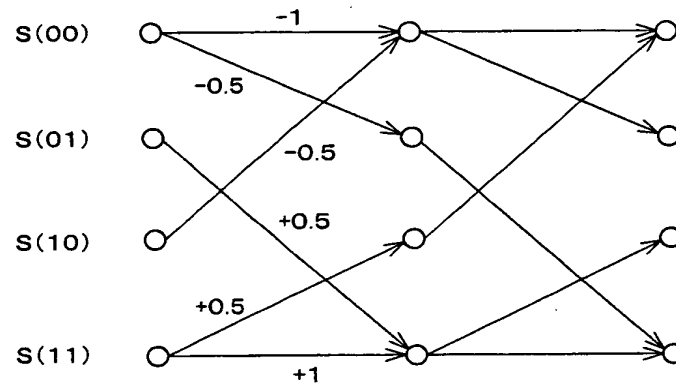
【図 1】



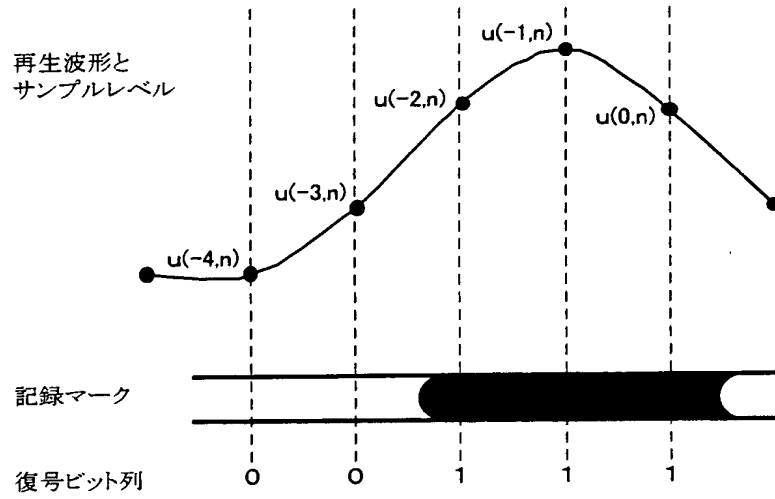
【図 2】



【図 3】

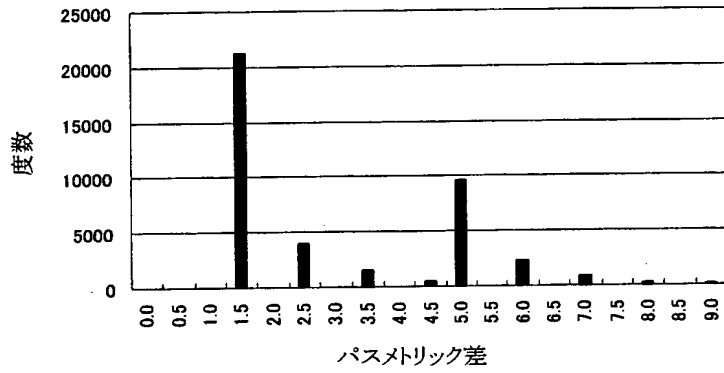


【図 4】

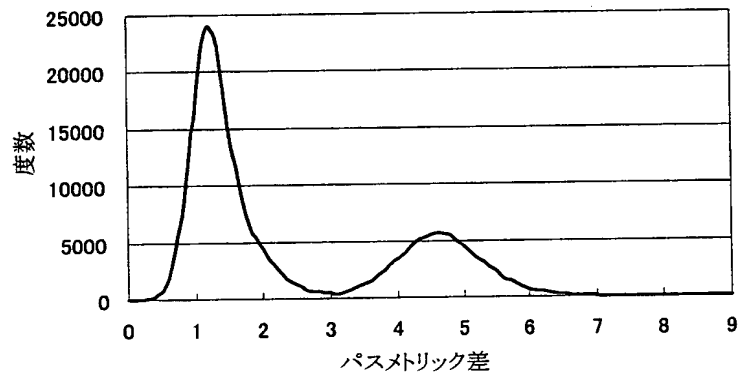


【図 5】

(a) 理想波形のパスメトリック差のヒストグラム



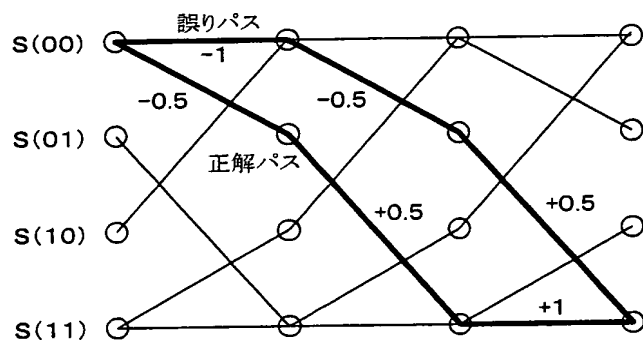
(b) 実際の再生信号のパスメトリック差のヒストグラム



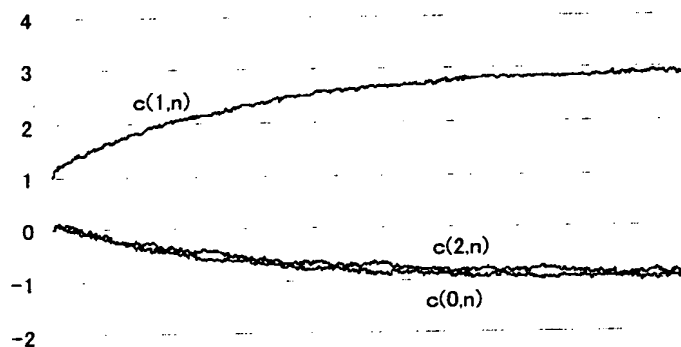
【図 6】

ハストリック差 理想値	ビットパターン
1.5	0 0 1 1 1
	1 1 0 0 0
	0 0 0 1 1
	1 1 1 0 0
2.5	0 0 0 1 1 0 0
	1 1 1 0 0 1 1
3.5	0 0 0 1 1 0 0 1 1
	1 1 1 0 0 1 1 0 0
4.5	0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0
	1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1
5.0	0 0 0 0 0 0
	1 1 1 1 1 1
	0 0 1 1 1 1
	1 1 0 0 0 0
	0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1
	1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0
6.0	0 0 0 1 1 1 1 1
	1 1 1 0 0 0 0 0
7.0	0 0 0 1 1 0 0 0 0 0
	1 1 1 0 0 1 1 1 1 1
8.0	0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1
	1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0
9.0	0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1
	1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0
	0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0
	1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1

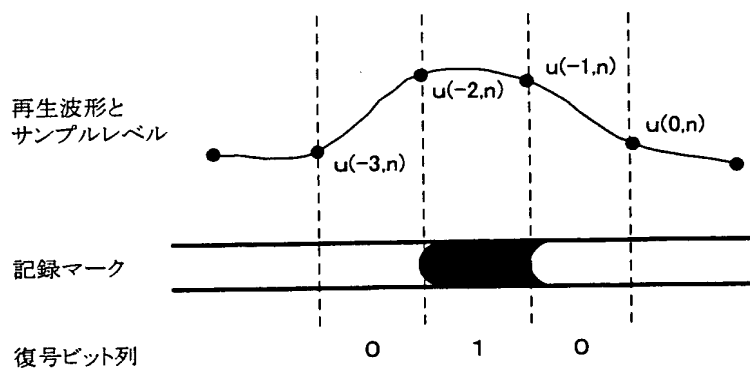
【図 7】



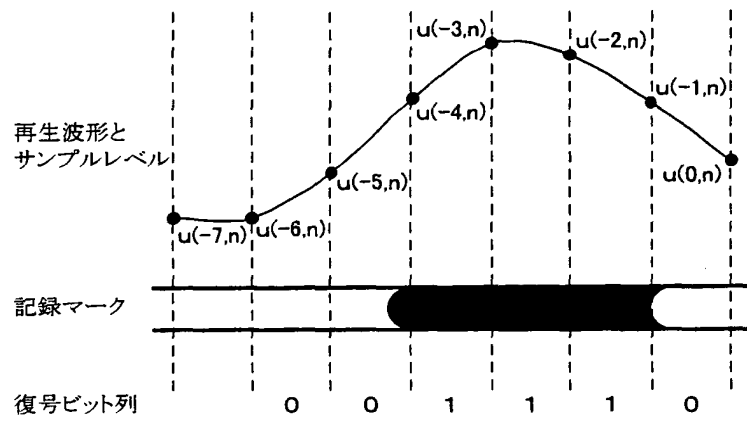
【図 8】



【図 9】

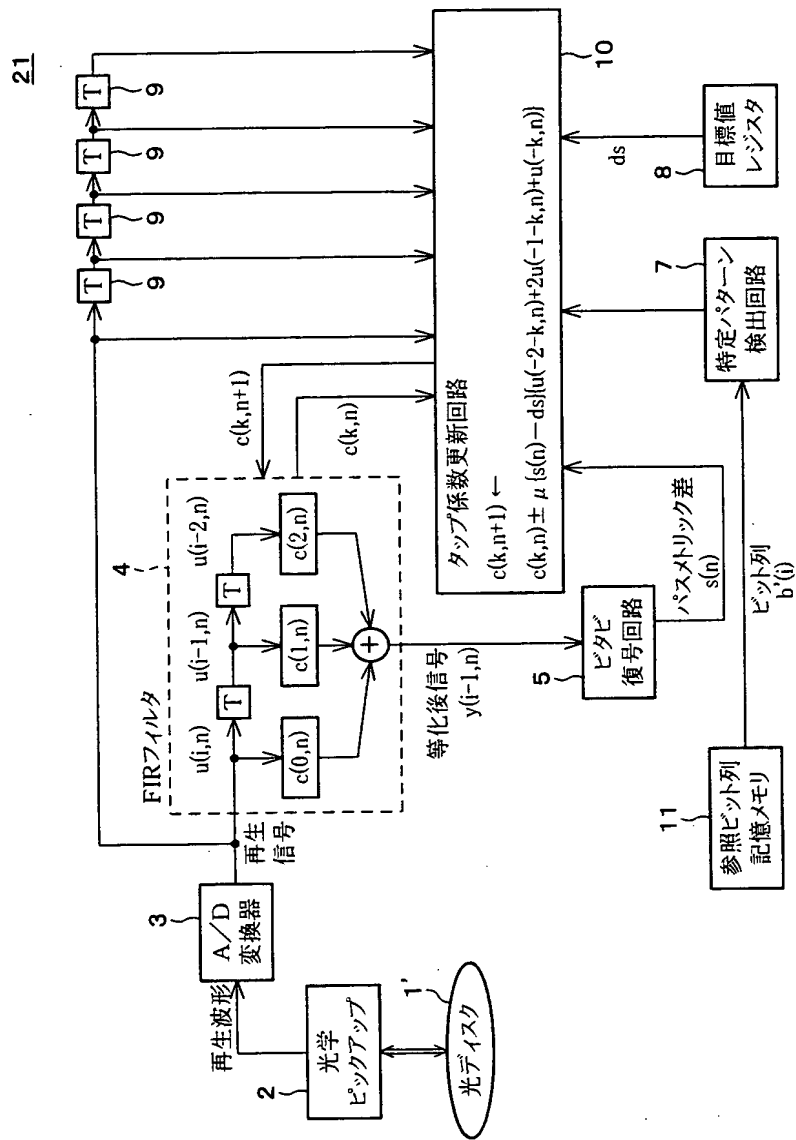


【図 1 0】

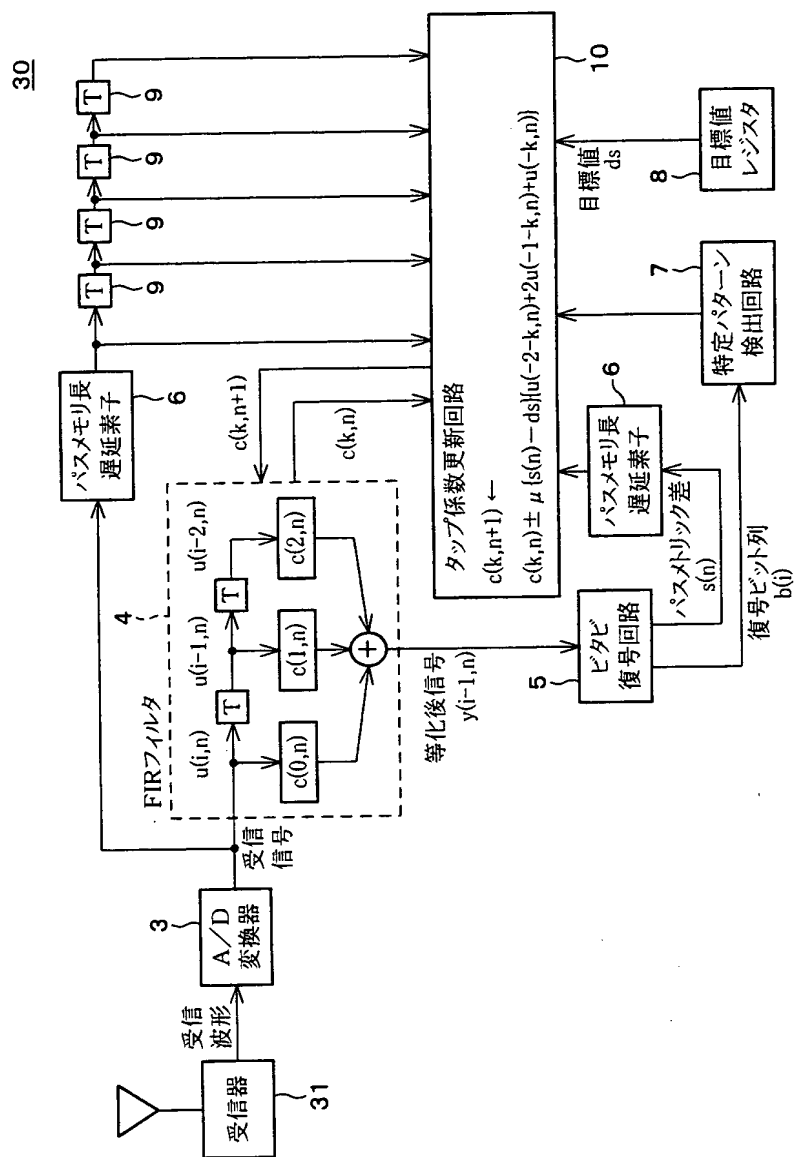




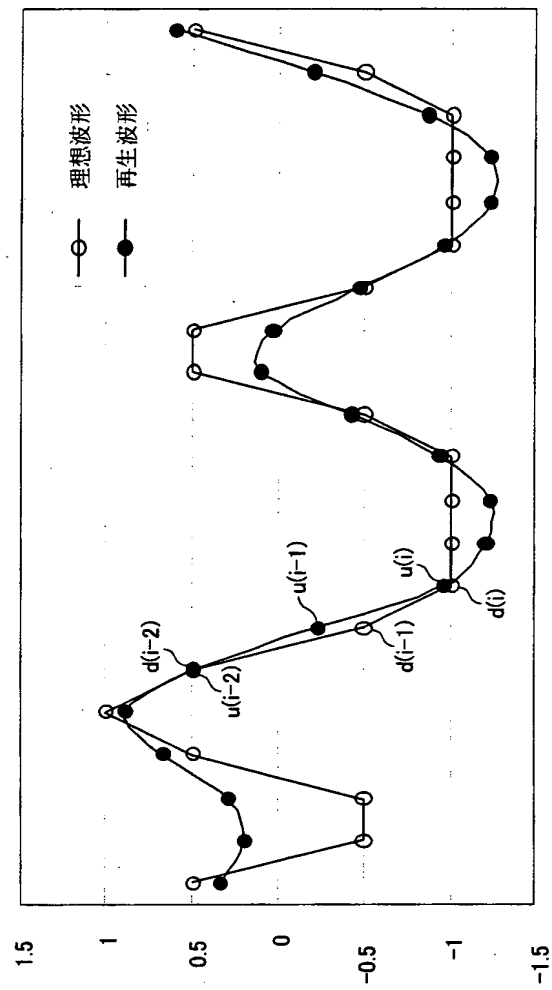
【図 11】



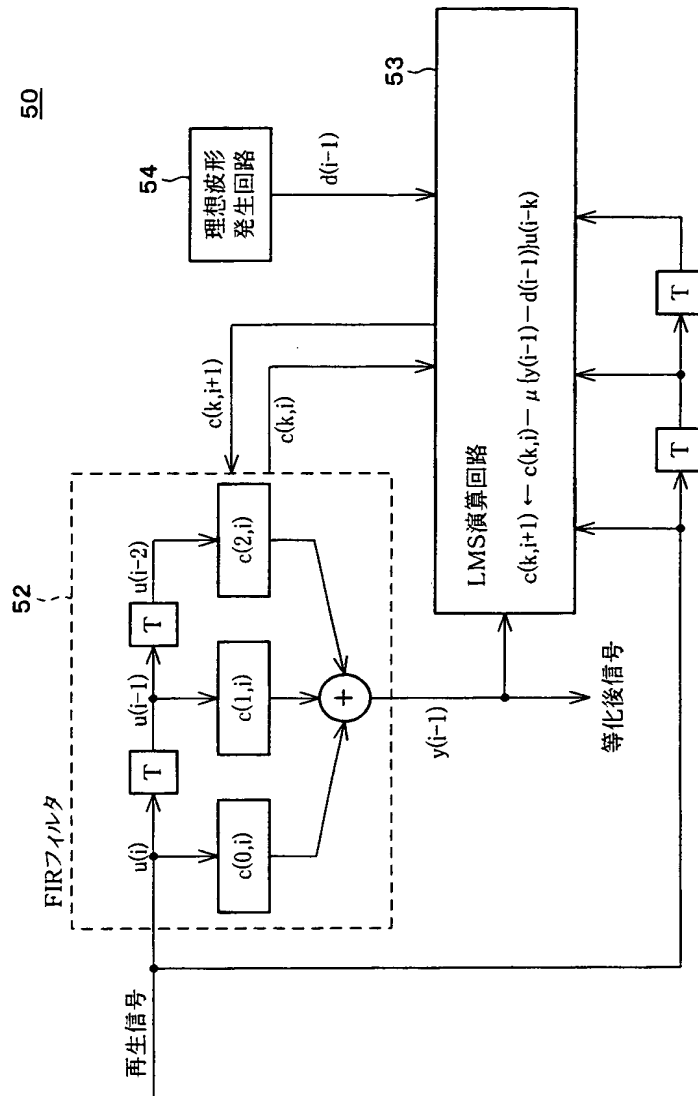
【图 12】



【図 13】



【図 1 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 復号によるエラーレートをより良好に低減することができる波形等化装置を実現する。

【解決手段】 波形等化装置 2 0 に、再生信号列  $u(i,n)$  に基づいて波形等化を行うことで等化後信号列  $y(i,n)$  を生成する F I R フィルタ 4 と、等化後信号列  $y(i,n)$  に基づくビタビ復号過程において、生き残りパスとして決定される正解パスと、正解パスと対決する誤りパスとのパスメトリック差  $s(n)$  を検出するビタビ復号回路 5 と、パスメトリック差  $s(n)$  の目標値  $d_s$  を設定する目標値レジスタ 8 と、検出されたパスメトリック差  $s(n)$  の目標値  $d_s$  に対する誤差  $\{s(n) - d_s\}$  に基づいて、F I R フィルタ 4 の等化特性の適応化を行うタップ係数更新回路 1 0 とを備える。タップ係数更新回路 1 0 は、平均二乗誤差が最小となるように等化特性を適応化していく。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005049]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市阿倍野区长池町22番22号

氏 名 シャープ株式会社